

**EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN DE LOS
RESIDUOS SÓLIDOS DE ORIGEN MUNICIPAL DISPUESTOS EN EL
RELLENO SANITARIO PARQUE AMBIENTAL LOS POCITOS DE LA
CIUDAD DE BARRANQUILLA**

JORGE EDUARDO BELTRAN VILA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECÁNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
SANTIAGO DE CALI
2014**

**EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN DE LOS
RESIDUOS SÓLIDOS DE ORIGEN MUNICIPAL DISPUESTOS EN EL
RELLENO SANITARIO PARQUE AMBIENTAL LOS POCITOS DE LA
CIUDAD DE BARRANQUILLA**

JORGE EDUARDO BELTRAN VILA

**Proyecto de grado para optar por el título de
Ingeniero Ambiental**

Directores:

VERÓNICA MANZI TARAPUÉS
Ingeniera Sanitaria, Msc.

RAFAEL ANTONIO KLINGER ANGARITA
Estadístico.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECÁNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
SANTIAGO DE CALI
2014**

Nota de aceptación:

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Ambiental

MARIO ANDRES GANDINI

Jurado

MADELAINE MELCHOR

Jurado

Santiago de Cali, 28 de Mayo de 2014

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	11
INTRODUCCIÓN	14
1 ANTECEDENTES	17
2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	27
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	27
2.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	29
3 JUSTIFICACIÓN	30
4 OBJETIVOS	31
4.1 OBJETIVO GENERAL	31
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	31
5 MARCO DE REFERENCIA	32
5.1 RESIDUOS SÓLIDOS	32
5.2 CLASIFICACIÓN Y ORIGEN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	32
5.3 CONCEPTOS Y PROPIEDADES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	34
5.3.1 Producción per cápita (ppc).	34
5.3.2 Cantidad total de residuos sólidos.	34
5.3.3 Propiedades físicas.	34
5.3.4 Propiedades Químicas.	35

5.4	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS ESTADÍSTICOS.	36
5.5	CLASES DE MUESTREO ESTADÍSTICO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS.	37
5.5.1	Muestreo aleatorio simple.	37
5.5.2	Muestreo estratificado.	38
5.6	METODOLOGÍAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	39
5.6.1	Métodos para determinar la generación de residuos sólidos municipales.	40
5.6.2	Normas aplicadas a la caracterización de los residuos sólidos.	41
6	CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE ASEO DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA.	43
6.1	ASPECTOS GENERALES DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA	43
6.2	ASPECTOS TÉCNICOS Y OPERATIVOS DEL SISTEMA DE ASEO DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA.	43
6.2.1	Barrido y limpieza de áreas públicas.	44
6.2.2	Recolección y transporte de los residuos sólidos.	44
6.2.3	Disposición final de los residuos sólidos de la ciudad de Barranquilla.	47
6.2.4	Número de suscriptores y cantidad de residuos dispuestos.	49
7	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	50
7.1	OBJETIVO ESPECIFICO 1.	50
7.1.1	Construcción de un marco de referencia de las metodologías utilizadas para la caracterización de residuos sólidos municipales.	50
7.2	OBJETIVO ESPECIFICO 2.	50
7.2.1	Revisión de la metodología existente para la caracterización de los residuos sólidos del área metropolitana de Barranquilla.	50

7.3	OBJETIVO ESPECIFICO 3.	52
7.3.1	Evaluación de la metodología de caracterización de la empresa prestadora del servicio de aseo.	52
7.3.2	Construcción de una propuesta de diseño de una metodología. De caracterización.	52
8	RESULTADOS.	54
8.1	REVISIÓN DE LA METODOLOGÍA DESARROLLADA POR LA EMPRESA PRESTADORA.	54
8.1.1	Aspectos del diseño de la metodología de muestreo.	54
8.1.2	Muestreo y trabajo en campo realizado.	56
8.1.3	Resultados por categoría de la ciudad de Barranquilla.	57
8.1.4	Determinación de la composición física.	58
8.2	EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA PRESTADORA.	59
8.2.1	Identificación de las variables y requerimientos utilizadas para la construcción del marco muestral.	59
8.2.2	Evaluación de la metodología existente para caracterizar los residuos sólidos de la empresa prestadora.	60
8.3	CONSTRUCCIÓN DE UNA PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN.	61
8.3.1	Definición del marco muestral.	63
8.3.2	Determinación del tamaño de muestra	64
8.3.3	Determinación de la cantidad de residuos sólidos que se requiere muestrear por categoría (Ch).	72
8.3.4	Aspectos logísticos de la aplicación de la metodología propuesta de la investigación.	73
8.4	PROPUESTA PARA LA CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LA FRACCIÓN DE BIORRESIDUOS.	74

8.4.1	Fracciones establecidas para la caracterización física de los biorresiduos.	74
8.4.2	Elementos establecidos para la caracterización química de los biorresiduos.	76
9	CONCLUSIONES	78
10	RECOMENDACIONES	80
	BIBLIOGRAFÍA	81

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Porcentaje de disposición de residuos sólidos biodegradables en rellenos sanitarios de acuerdo con las fechas establecidas	18
Cuadro 2. Composición RSM en países de Europa	19
Cuadro 3. Generación de residuos sólidos con respecto a la población en ALC	20
Cuadro 4. Generación per cápita promedio de los residuos de ALC de acuerdo a tamaño núcleo poblacional	21
Cuadro 5. Generación per cápita de residuos sólidos en algunos países de ALC y países desarrollados	22
Cuadro 6. Composición física de los residuos sólidos municipales en Estados Unidos y algunos países de ALC	23
Cuadro 7. Gestión de los RSM en Colombia	24
Cuadro 8 . Composición física de los residuos sólidos municipales generados en la ciudad de Bogotá, Cali, Medellín, Barranquilla y Pasto	25
Cuadro 9. Composición química de los residuos sólidos municipales generados en la ciudad de Bogotá y Pasto	26
Cuadro 10. Clasificación y origen de los residuos sólidos	33
Cuadro 11. Definición de términos estadísticos	36
Cuadro 11. (Continuación)	37
Cuadro 12. Comparación de las clases de muestreo	39
Cuadro 13. Número de suscriptores al servicio de aseo del área metropolitana de Barranquilla	49
Cuadro 14. Cantidad de residuos sólidos dispuestos por municipio en el relleno sanitario Parque Ambiental Los Pocitos	49
Cuadro 15. . Listado del parque de carros recolectores existente y rutas de recolección por zonas	51

Cuadro 16. Información operativa del sistema de aseo	51
Cuadro 17. .Número de usuarios del servicio de aseo por clase de uso	54
Cuadro 18. Calculo del tamaño muestral y cantidad de residuos para los cuarteos	56
Cuadro 19. Promedio de habitante/domicilio	56
Cuadro 20. Días de recolección de zonas residenciales	57
Cuadro 21. Marco muestral de la metodología a diseñar	63
Cuadro 22. Número de suscriptores por categoría establecida en la metodología	63
Cuadro 23. Peso de las categorías en la conformación de la muestra de la población	66
Cuadro 24. Peso de los componentes en la conformación de la categoría 7	66
Cuadro 25. Relación categoría y color de bolsa de cada una	68
Cuadro 26. Características de las fracciones de biorresiduos.	76
Cuadro 27. Análisis químico elemental de la fracción de biorresiduos.	77
Cuadro 28. Metales pesados a evaluar de la fracción de biorresiduos.	77

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Zonificación del servicio de aseo en el Área metropolitana de Barranquilla	45
Figura 2. Horario de prestación del servicio de aseo para pequeños productores en el área metropolitana de Barranquilla	46
Figura 3. Rutas de prestación del servicio de aseo a grandes productores en el área metropolitana de Barranquilla	47
Figura 4. Relleno Sanitario Parque Ambiental los Pocitos	48
Figura 5. Aspectos fundamentales en la construcción del marco muestral	62
Figura 6. Método de cuarteo	74

RESUMEN

Los estudios de caracterización de los residuos sólidos en una población son importantes para el diseño y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), dado que estos permiten tener un soporte para la selección de opciones tecnológicas de gestión de residuos, con el propósito de reducir sus impactos negativos en el medio ambiente y la salud humana.

Sin embargo la validación y representatividad de los resultados de estos estudios, radica principalmente en el diseño metodológico, tanto que la representatividad de los resultados del total de la población depende del soporte estadístico de la metodología empleada.

En el caso de Colombia, los estudios de caracterización de los residuos sólidos desarrollados en ciudades como Cali, Bogotá y Pasto reportan que los Residuos Sólidos Municipales (RSM) están conformados entre 50-70% por biorresiduos, fracción en la cual se destaca el sector residencial como gran generador, por el alto contenido de residuos de alimentos, comida y jardinería.

Para la gestión de los biorresiduos se plantean diferentes elementos en su gestión como son la prevención en el origen, clasificación y recolección selectiva (mixta o clasificada), para su posterior aprovechamiento en algunos procesos como el tratamiento biológico (compostaje, lombricultura y biodigestión), producción de concentrado de alimentos y producción de energía.

La opción tecnológica de gestión de los biorresiduos se puede diseñar, implementar y operar, considerando la composición física y química de los residuos, lo cual se obtiene mediante estudios de caracterización con el objetivo de tener un argumento técnico que soporte la toma de decisiones.

En concordancia con lo anterior, con el objetivo de contar con una base sólida para el planteamiento de opciones de aprovechamiento de los residuos sólidos, en especial de los biorresiduos, en este proyecto se revisó y evaluó la metodología actualmente empleada para caracterizar los residuos sólidos en el relleno sanitario Parque Ambiental Los Pocitos de la ciudad de Barranquilla.

Para esto fue necesario caracterizar el servicio de aseo de la ciudad, incluyendo los componentes del mismo, tales como la generación, recolección, transporte y disposición final de los residuos.

Como resultado de la revisión y evaluación realizada se encontró que el soporte estadístico de esta metodología es susceptible de mejoras con el fin de garantizar su validez. Dado que en la obtención del número de suscriptores a conformar la muestra de cada categoría se diseñó con soporte técnico, pero no tuvo validez para la obtención de la cantidad de residuos sólidos que se necesitan para la caracterización de éstos en el sitio de disposición final, porque realizaron el supuesto de la producción per cápita (p.p.c), aplicando éste valor ($1 \text{ kg.hab}^{-1}\text{día}^{-1}$) a todos los municipios (Barranquilla, Sabanalarga, Galapa, Puerto Colombia y Grandes Productores) que hicieron parte del estudio.

Para dar respuesta a las necesidades de mejoramiento detectadas de la metodología evaluada, se presenta una propuesta metodológica para caracterizar los residuos sólidos en el relleno sanitario, tomando como referente el mismo marco muestral de la metodología evaluada, donde se prioriza la aplicación de ésta para la ciudad de Barranquilla, conformando 7 categorías (estratos socioeconómicos y grandes productores), basada en un muestreo estratificado con asignación de Neyman, el cual permite obtener la mínima varianza del estimador global (Cantidad de residuos sólidos que se requieren de cada categoría (C_h)), presentando las relaciones estadísticas para la determinación del tamaño de muestra

Adicionalmente, se recomienda la realización de una prueba piloto para obtener los estimadores de la media, producción por suscriptor (p.p.s._h) y la varianza en cada una de las categorías establecidas, para lo cual se presenta una propuesta de diseño. Es importante mencionar que la ejecución de esta prueba piloto no hace parte del alcance de este proyecto.

La metodología propuesta plantea que los estimadores obtenidos de la prueba piloto con su implementación y las relaciones estadísticas del método, permiten obtener la cantidad de residuos sólidos que se necesita de cada categoría para la caracterización.

Así mismo para la propuesta de caracterización fisicoquímica de los biorresiduos se consideró:

- En la composición física clasificarlos en cuatro grupos, siendo estos residuos de alimentos, jardinería, residuos de papel y residuos procedentes de excrementos de animales domésticos sin lechos y arenas absorbentes, que hacen parte de los biorresiduos, evaluando sus propiedades como peso específico, humedad, tamaño de partículas y distribución del tamaño de partículas.

- Para la composición química se plantean tres análisis que involucran: las características de la fracción, el análisis elemental de los residuos y los metales pesados

Palabras claves: Biorresiduos, métodos estadísticos, composición fisicoquímica de los residuos.

INTRODUCCIÓN

La gestión de los residuos sólidos se ha convertido en un tema de creciente preocupación a nivel mundial, ya que las poblaciones urbanas siguen aumentando, generando un incremento en los residuos sólidos, donde los patrones de consumo cambian con el tiempo, causando consecuencias negativas en la salud y el medio ambiente, en especial en los países en desarrollo¹.

Al-Khatib² reporta que existe un desconcierto por la poca y deficiente gestión de los residuos sólidos en los países en desarrollo, caso contrario con los países desarrollados que tienen establecidos programas, reglamentos y planes de acción para la adecuada gestión de estos.

No obstante recientemente los países en desarrollo han venido trabajando para mejorar la organización, planificación, manejo y disposición final de los residuos, de modo que han determinado que en la gestión de estos residuos son temas prioritarios la reducción, reutilización, reciclaje y aprovechamiento³.

En el contexto de Colombia en los últimos años, para realizar una apropiada gestión integral de los residuos sólidos, se establecieron políticas, normas y reglamentos, como es el caso de la Política de Gestión de Residuos Sólidos⁴ que establece la jerarquización de los residuos y el decreto 2981 del 2013⁵ que establece que los municipios y distritos deben elaborar un plan municipal o distrital para la gestión integral de residuos sólidos en el ámbito local o regional según el caso, en el marco de la Política de Gestión de Residuos Sólidos, de manera que el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) por lo general involucra aspectos financieros, institucionales, ambientales, socioeconómicos y técnicos, destacando que se deben identificar alternativas de manejo como programas de separación en la fuente, presentación y almacenamiento, tratamiento, recolección, aprovechamiento y disposición final⁶.

¹ Marshall, Rachael; Farahbakhsh, Khosrow. Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries. En: Revista Elsevier. Enero, 2013, no. 33, p. 988.

² Al-Khatib, Issam et al. Trends and problems of solid waste management in developing countries: A case study in seven Palestinian districts. En: Revista Elsevier. Enero, 2007, no.27, p.1910.

³ Ibid., p.1910.

⁴ MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Política para la gestión integral de residuos. Santafé de Bogotá, 1997. p 10.

⁵ MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 2981 de 2013 (20 diciembre).p. 33

⁶ Ibid, p. 6.

Conjuntamente en el país la gestión formal de los Residuos Sólidos Municipales (RSM) se ha venido materializando en bajas proporciones en municipios cuya población es inferior a 20.000 habitantes, mediante la implementación de las Plantas de Manejo de Residuos Sólidos (PMRS) que se han orientado hacia el aprovechamiento y valorización de los mismos, pretendiendo disponer aquellos residuos no aprovechables en el sitio de disposición final⁷, sin embargo en el país como disposición final predomina el relleno sanitario.

Para el diseño y desarrollo de los PGIRS y la PMRS se ha identificado como elemento fundamental, contar con información de las cantidades y características de los residuos sólidos generados, dado que esto es necesario para definir las etapas claves en su gestión⁸.

A nivel del país, son escasas las experiencias documentadas de caracterizaciones fisicoquímicas de residuos sólidos con una base estadística rigurosa. Experiencias como las realizadas en las ciudades de Cali (año 2006), Bogotá (año 2011) y Medellín (año 2005) son algunas de ellas, sin embargo, el año base de la realización de estas caracterizaciones sugiere la necesidad de actualización para algunas de ellas, si se considera lo estipulado en el título F del RAS 2000, el cual recomienda llevar a cabo ejercicios juiciosos de caracterización de residuos sólidos al menos una vez cada dos años.

Por su parte, las caracterizaciones reportadas, evidenciaron que en la composición física de los residuos, la fracción orgánica biodegradable predomina significativamente sobre las demás, la cual está conformada por residuos procedentes de jardinería, cocina y alimentos, que hacen parte de los biorresiduos, siendo el 61.43% en el caso de Bogotá (2011)⁹, 59.48% en Medellín (2005)¹⁰, 65.54% en Cali (2006)¹¹ y 65.13% en Barranquilla (2013)¹².

⁷ Oviedo, Ricardo; Marmolejo, Luis; Torres, Patricia. Perspectivas de aplicación del compostaje de biorresiduos provenientes de residuos sólidos municipales un enfoque desde lo global a lo local. En: Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Enero-junio 2012, vol. 11, no 20, p. 3.

⁸ Klinger, Rafael. Plan de muestreo para la cuantificación de residuos sólidos residenciales generados en las zonas urbanas de ciudades de tamaños intermedios. En: Revista Facultad de Ingeniería de Antioquia. Junio 2009, no.48, p. 76.

⁹ Caracterización de los residuos sólidos residenciales generados en la ciudad de Bogotá D.C. 2011, p. 37. Bogotá 2011: Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP). . [Consultado 20 de Mayo de 2013]. Disponible en Internet: [http://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/attachments/Caracterizaci%C3%B3n/RESIDENCIALES%2002-29-2012\(!\).pdf](http://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/attachments/Caracterizaci%C3%B3n/RESIDENCIALES%2002-29-2012(!).pdf)

¹⁰. Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Valle de Aburra (PGIRS 2005-2020). p. 12. Medellín 2005 CORANTIOQUIA y Área metropolitana del Valle de Aburra [Consultado 25 de Mayo de 2013]. Disponible en Internet: <http://www.areadigital.gov.co/Residuos/Documents/PGIRS/Cap.%20VI%20Proyecciones.pdf>

¹¹ Universidad del Valle (Univalle) y Departamento Administrativo de Planeación Municipal (DAPM). Caracterización de los residuos sólidos residenciales generados en el municipio de Santiago de Cali 2006, p. 23.

En el caso particular de la ciudad de Barranquilla, en cuanto a la frecuencia y alcance de las caracterizaciones realizadas, la empresa prestadora del servicio de aseo informa que la caracterización de los residuos sólidos se desarrolla anualmente, con lo cual se obtiene la composición física de los residuos, a través de la implementación de una metodología estadística que, como se indica a continuación, será objeto de evaluación en este proyecto.

De acuerdo con lo anterior, con el objetivo de contar con una base sólida para el planteamiento de opciones de aprovechamiento de los residuos sólidos, en este proyecto se tiene como objetivo proponer opciones de mejoramiento a la metodología implementada para la caracterización de los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario Parque Ambiental Los Pocitos de la ciudad de Barranquilla, complementándola de tal manera que considere la composición fisicoquímica de la fracción de biorresiduos.

¹² Información suministrada por Triple A S.A. E.S.P. 2014.

1 ANTECEDENTES

La población a nivel mundial ha pasado de 2.500 millones de habitantes en el año de 1950 a un total de 6.900 millones durante el año 2010, igualmente se proyecta para el año 2.050 con 9.100 millones de habitantes, donde el 68.7% de la población mundial habitará en centros urbanos¹³, cuyo crecimiento ha generado un incremento en la producción de residuos sólidos.

En consecuencia la gestión de los residuos sólidos se ha convertido en un tema de gran preocupación mundial, ya que los residuos causan impactos negativos en el medio ambiente afectando también la salud del hombre, esta situación ha originado que ciertas organizaciones y comisiones de naciones establezcan reglamentos, acciones y lleven un control de ellos.

Un ejemplo es la estrategia de desarrollo sostenible realizada por la Comisión de la Unión Europea (CUE), la cual estableció en sus prioridades la gestión de los residuos sólidos, basándose en cuatro pilares: prevención (tecnologías más limpias, diseño ecológico) y reutilización, reciclaje, conversión de los residuos en una fuente de energía de efecto invernadero neutral y por último mejorar la disposición final (rellenos sanitarios) de residuos¹⁴.

De igual manera, la CUE mediante la directiva de relleno sanitario (Directiva 1999/31/CE) establecieron a partir del año 1995 fechas límites para reducir la disposición final de residuos sólidos biodegradables en estos sitios, (véase Cuadro 1), ya que en el proceso de descomposición producen metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), siendo éstos gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático¹⁵.

¹³ Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe 2010. Op. cit., p. 47. Disponible en Internet: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36466973>

¹⁴ Environmental statistics and accounts in Europe. Eurostat 2010. p. European Commission. 98. [Consultado 25 de Noviembre de 2013]. Disponible en Internet: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-32-10-283/EN/KS-32-10-283-EN.PDF

¹⁵ Ibid., p. 62.

Cuadro 1. Porcentaje de disposición de residuos sólidos biodegradables en rellenos sanitarios de acuerdo con las fechas establecidas

Fecha Inicio	Fecha final	Porcentaje de Disposición en vertederos (%)
1995	2010	75
1995	2013	50
1995	2020	35

Fuente: Environmental statistics and accounts in Europe. Eurostat 2010, Op. cit., p. 62 Disponible en Internet: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-32-10-283/EN/KS-32-10-283-EN.PDF.

Esta situación generó que los países miembros de la Unión Europea (UE) comenzaran a implementar opciones o alternativas para la gestión de los residuos sólidos, por lo que se dispusieron en los rellenos sanitarios el 40,0% de los residuos totales generados, el 20,0% fue incinerado, el 23,0% en reciclaje y el 17,0% aprovechado a partir del compostaje¹⁶.

En un informe realizado por la Unión Europea, se enmarcó que el análisis de los RSM es muy complejo, debido a su composición, distribución entre las fuentes generadoras (industria, comercio, residencial, etc.) y vínculo con los patrones de consumo de la población, reportando que entre el 60.0% y 90.0% de los RSM provienen de residencias, mientras que el resto se le atribuye al sector comercial, instituciones e industrias¹⁷.

En el cuadro 2 se presenta la composición física y producción per cápita de los residuos en diferentes países europeos, para estos países se puede ver que la fracción orgánica corresponde entre el 29 y 60% del total de los residuos.

¹⁶ 40% of municipal waste recycled or composted in 2008: Half a tonne of waste generated per person. 2010. p. 1. Eurostat newsrelease. [Consultado 25 de Noviembre de 2013]. Disponible en Internet: http://europa.eu/rapid/press-release_STAT-10-43_en.htm?locale=en

¹⁷ Blumenthal, Karin. Generation and treatment of municipal waste. Eurostat 2011. p. 2. [Consultado 10 de Agosto de 2013]. Disponible en Internet: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-SF-11-031/EN/KS-SF-11-031-EN.PDF

Cuadro 2. Composición RSM en países de Europa

País	Producción per cápita	Composición de los Residuos (%)						
	(Kg/hab.año)	Plástico	Papel y Cartón	Orgánico	Vidrio	Metales	Textiles	Otros
Finlandia	624	5,0	51,0	29,0	6,0	2,0	2,0	5,0
Holanda	500	8,1	24,7	51,9	5,0	3,7	2,1	4,5
Dinamarca	475	5,0	29,0	28,0	4,0	13,0	0,0	21,0
Noruega	472	6,0	31,0	30,0	5,5	4,5	0,0	23,0
Hungría	463	6,0	21,5	31,3	5,5	4,5	0,0	31,2
Luxemburgo	445	6,0	17,0	34,0	7,0	3,0	0,0	33,0
Suiza	441	15,0	31,0	30,0	8,0	6,0	3,1	6,9
Portugal	257	4,0	23,0	60,0	3,0	4,0	0,0	6,0

Fuente: Gestión de los residuos sólidos urbanos 2005. p. 15. Metrópolis & Universidad Politécnica de Catalunya (UPC). [Consultado 09 de Julio de 2013]. Disponible en Internet: http://www.metropolis.org/sites/default/files/publications/2005/2005_C3-Residuos-solidos-urbanos-ESP.pdf

Los RSM generados en los países de la Unión Europea se componen entre el 30,0% a 40,0% de biorresiduos, donde su producción se encuentra entre 76.5 y 102 millones de toneladas de residuos de alimento y jardinería (incluyendo residuos mezclados), además de 37 millones de toneladas procedentes de la industria alimenticia y de bebida, destacando que estos residuos se caracterizan por ser generalmente húmedos¹⁸.

En Europa para la gestión de los biorresiduos se han establecido opciones como la prevención en origen, la recolección (selectiva o mixta), la digestión anaerobia, el compostaje, la incineración y la disposición en rellenos sanitarios, donde su implementación depende de las condiciones locales como densidad poblacional, infraestructura, clima, entre otros¹⁹.

En relación con el aumento de la generación de los residuos sólidos, el panorama en América Latina y el Caribe (ALC) es similar a la situación de los países de la Unión Europea, de acuerdo con los últimos informes realizados por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), en conjunto con la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS), se ha evidenciado el incremento de los residuos sólidos y su población, (véase Cuadro 3).

¹⁸ Libro verde sobre la gestión de los biorresiduos en la unión Europa. [en línea]. Bruselas: 2008. Comisión de las Comunidades Europeas. [Consultado 1 de Junio de 2013]. Disponible en Internet: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0811:FIN:ES:PDF>

¹⁹ Ibíd., p. 3.

Cuadro 3. Generación de residuos sólidos con respecto a la población en ALC

Año	Población (millones)		Residuos Sólidos Urbanos (t/d)
	Urbana	Total	
1995 ¹	357	474	275.000
2001 ¹	406	518	369.000
2010 ²	468,8	588,6	436.000
2015 ¹	501,6	627	446.000

Fuente: ¹ Informe de la evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe 2005. p. 31. Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS), Organización Panamericana de la Salud (OPS). [Consultado 20 de Junio de 2013]. Disponible en Internet: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/informe/introduc.pdf>

² Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe 2010, Op. cit., p. 24. Disponible en Internet: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36466973>

Los residuos sólidos residenciales de la región ALC corresponden entre el 50,0% a 75,0% de los RSM²⁰, en donde la producción per cápita de los residuos varía de una población a otra, debido al grado de urbanización, tamaño de la población, nivel socio económico, entre otros²¹. En el cuadro 4, se presenta la producción per cápita de los residuos sólidos en la región de ALC.

²⁰ Informe de la evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe 2005. Op. cit., p. 71. Disponible en Internet: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/informe/introduc.pdf>

²¹ Sánchez Rivera, Griselda. Diagnóstico de la problemática de los residuos sólidos urbanos en el municipio de ciudad Ixtepec, Oaxaca. Puerto Ángel: Universidad del mar campus Puerto Ángel .Facultad de Ingeniería. Abril 2005. 121 p. 21.

Cuadro 4. Generación per cápita promedio de los residuos de ALC de acuerdo a tamaño núcleo poblacional

Población (habitantes)	Residuos domiciliarios (kg/hab/día)	Residuos municipales (kg/hab/día)
<15.000	0,59	0,59
15.00-50.000	0,51	0,64
Promedio pequeñas	0,54	0,62
50.000-100.000	0,55	0,72
100.000-200.000	0,59	0,79
Promedio medianas	0,59	0,75
200.000-500.000	0,68	0,88
500.000-1.000.000	0,69	0,98
Población (habitantes)	Residuos domiciliarios (kg/hab/día)	Residuos municipales (kg/hab/día)
>1.000.000	1,04	1,25
Promedio grandes	0,88	1,09

Fuente: Informe de la evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe 2005. p. 74. Disponible en Internet: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/informe/introduc.pdf>

En el cuadro 5, se presenta la producción per cápita de algunos países de la región ALC, como también de otros países desarrollados.

Cuadro 5. Generación per cápita de residuos sólidos en algunos países de ALC y países desarrollados

País	Residuos domiciliarios (kg/hab/día)	Residuos Municipales (kg/hab/día)
Argentina ²	0,77	1,15
Brasil ²	0,67	1,00
Colombia ²	0,54	0,62
Uruguay ²	0,75	1,03
México ²	0,58	0,94
Ecuador ²	0,62	0,71
Promedio ALC ²	0,63	0,93
Estados Unidos ²	-	2,08
Japón ¹	-	1,12
Australia ¹	-	1,89
Canadá ¹	-	1,80
España ²	-	1,59
Holanda ¹	-	1,37

Fuente: ¹ Informe de la evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe 2005. p. 75. Disponible en Internet: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/informe/introduc.pdf>

² Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe 2010. p.106. Disponible en Internet: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36466973>

De acuerdo al cuadro anterior es cierto que el promedio de los RSM de ALC es inferior en comparación con ciertos países desarrollados como son Estados Unidos y Japón, en donde la producción de residuos está relacionada con el nivel de ingreso de las poblaciones de cada país y sus principales actividades productivas²².

En cuanto a la composición física de los RSM en la región de ALC es común la predominancia del alto contenido de materia orgánica putrescible o biorresiduos con un promedio alrededor del 56,0%²³. En el cuadro 6 se muestra la composición física de los RSM generados en algunos países de ALC y Estados Unidos.

²² Informe de la evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe 2005, Op. cit., p. 75. Disponible en Internet: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/informe/introduc.pdf>

²³ Informe de la evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe 2005, Op. cit., p. 75. Disponible en Internet: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/informe/introduc.pdf>

Cuadro 6. Composición física de los residuos sólidos municipales en Estados Unidos y algunos países de ALC

País (ciudad)	Composición de los Residuos (%)							
	Madera	Plástico	Papel y Cartón	Orgánicos Putrescibles	Vidrio	Metales	Textiles	Otros e inertes
México	-	8,40	20,90	44,00	7,60	3,10	4,50	11,50
Perú	-	4,30	7,50	54,50	3,40	2,30	1,50	25,90
Guatemala	-	8,10	13,90	63,30	3,20	1,80	0,90	8,80
Ecuador	-	4,50	9,60	71,40	3,70	0,70	-	-
Paraguay (Asunción)	-	4,20	10,20	58,20	3,50	1,30	1,20	19,90
Estados Unidos	6,00	11,00	35,00	24,00	6,00	8,00	-	3,00

Fuente: Informe de la evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe 2005. p. 77. Disponible en Internet: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/informe/introduc.pdf>

De acuerdo con el informe de la evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe 2005²⁴, reporta que de las propiedades fisicoquímicas de los RSM sobresale el alto porcentaje de humedad entre el 40,0% a 60,0% y su bajo poder calorífico (menor de 1.381kcal/kg), siendo determinantes para la selección de opciones de almacenamiento, recolección, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de los residuos sólidos.

Así mismo las alternativas de tratamiento y aprovechamiento para los RSM más empleada en la región de ALC son el compostaje y el reciclaje, pero estas técnicas son todavía incipientes comparada con los países desarrollados²⁵. Sin embargo la evaluación que se realizó para el año 2010 estimó que los residuos sólidos generados por el 54.4% de la población, fueron dispuestos en rellenos sanitarios, reduciendo los correspondientes con botaderos a cielo abierto disminuyendo del 45,3% a 23.37%, con respecto al año 2005²⁶.

²⁴ Ibid., p. 77.

²⁵ Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe 2010, Op. cit., p. 126. Disponible en Internet: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36466973>

²⁶ Ibid., p. 137.

El panorama en Colombia es similar con respecto a los demás países de ALC, dado que el país ha presentado un aumento de la población e igualmente en la generación de los RSM, con base en información oficial, de los 1.098 municipios del país, en el año 2011 se generaron un promedio diario de 26.537 tonelada de residuos sólidos, aumentando un 8,0% más en comparación con el año 2010²⁷.

En el país la mayor parte de los residuos se dispone en rellenos sanitarios, pero aún se reporta la disposición inadecuada de éstos, (véase Cuadro 7).

Cuadro 7. Gestión de los RSM en Colombia

Tipo de disposición	Ton/ día	%	Número de municipios
Botadero (193)	1399,73	5,68	193
Planta Integral (39)	329,97	1,34	83
Enterramiento (34)	175,41	0,71	36
Quema (6)	8,86	0,04	6
Cuerpo de Agua (8)	20,67	0,08	10
Relleno sanitario (308)	22668,62	92,13	764

Fuente: Estudio sectorial de aseo 2006-2009, p. 8. Disponible en Internet: <http://www.superservicios.gov.co/content/download/893/13717/version/1/file/%282006%29+ESTUDIO+SECTORIAL+ASEO+2006+%E2%80%93+2009.pdf>

Igualmente los municipios del país están comprometidos en la formulación e implementación de los PGIRS, destacando que para la realización de ellos se hace necesario conocer la composición fisicoquímica de los residuos sólidos generados, ya que esta información es importante para definir las etapas básicas para su gestión como son: recolección, transporte, aprovechamiento, tratamiento y disposición final.

Los PGIRS de cada municipio se establecen para un periodo de tiempo, por lo tanto deben ser ajustados y actualizados, siendo importante realizar la caracterización de los residuos, dado que sirve de soporte para la selección y aplicación de tecnologías, con el objetivo de reducir sus impactos y repercusiones en el medio ambiente

²⁷ Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia. Diagnostico 2011. Op. cit., p. 7. Disponible en Internet: http://www.superservicios.gov.co/home/c/document_library/get_file?uuid=eef29b3e-9d73-4adb-8fdd-1e526981c01c&groupId=10122

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada sobre caracterizaciones fisicoquímicas de los residuos sólidos en las ciudades colombianas, son pocos los estudios, destacando los informes de las ciudades de Cali, Bogotá, Medellín, Barranquilla y Pasto, tal como se muestra en el cuadro 8.

Cuadro 8 . Composición física de los residuos sólidos municipales generados en la ciudad de Bogotá, Cali, Medellín, Barranquilla y Pasto

Ciudad	Composición física de los residuos de algunas ciudades de Colombia (% en peso)						
	Plástico	Papel y Cartón	Orgánicos	Vidrios	Metales	Textiles	Otros
Bogotá ¹	10,48	7,10	61,43	2,07	0,84	1,88	16,20
Cali ²	10,14	6,23	65,54	2,56	1,06	1,98	12,42
Medellín ³	11,29	12,02	59,48	2,65	1,31	3,22	10,03
Barranquilla ⁴	17,38	5,60	65,13	1,55	0,84	4,08	5,42
Pasto ⁵	8,57	8,31	70,39	3,92	1,51	1,41	5,89

Fuente: ¹ Caracterización de los residuos sólidos residenciales generados en la ciudad de Bogotá D.C. 2011, Op. cit., p. 37. Disponible en Internet: [http://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/attachments/Caracterizaci%C3%B3n/RESIDENCIALES%2002-29-2012\(!\).pdf](http://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/attachments/Caracterizaci%C3%B3n/RESIDENCIALES%2002-29-2012(!).pdf)

² Caracterización de los residuos sólidos residenciales generados en el municipio de Santiago de Cali 2006, Op. cit., p. 23.

³ Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Valle de Aburra (PGIRS 2005-2020), Op. cit., p. 12. Disponible en Internet: <http://www.areadigital.gov.co/Residuos/Documents/PGIRS/Cap.%20VI%20Proyecciones.pdf>

⁴ Información suministrada por Triple A S.A. E.S.P. 2014.

⁵ Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS 2007-2022). Pasto 2007. Alcaldía de Pasto. p. 63. [Consultado 02 de Junio de 2013]. Disponible en Internet: https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.pasto.gov.co%2Findex.php%2Fcomponent%2Fphocadownload%2Fcategory%2F135-planes-ambientales%3Fdownload%3D103%3Aplan-de-gestin-integral-de-residuos-slidos-2007-2022&ei=e3iXU97mFLHRsQSNvoGACg&usg=AFQjCNHE_QcJ7gvnXJQSLCS eO-r9lq5tZg

En relación con la caracterización química de las ciudades mencionadas anteriormente, en el caso de Bogotá y Pasto, se reportaron resultados de la caracterización global de los residuos (véase cuadro 9), en el caso de Cali se reportaron resultados por barrios y en Medellín por comunas, destacando que para Barranquilla no se encontraron reportes disponibles, aunque si fue posible obtener información directamente proporcionada por la empresa prestadora del

servicio de aseo, que sin embargo, no incluye la composición química de los residuos.

Cuadro 9. Composición química de los residuos sólidos municipales generados en la ciudad de Bogotá y Pasto

Parámetro	Unidad	Ciudad	
		Pasto ¹	Bogotá ²
pH	Unidades	5,52	5,69
Humedad	%	72,56	61,70
Cenizas	%	30,15	3,67
Nitrógeno	%	1,65	0,60
Carbono	%	25,62	16,00

Fuente: ¹ Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS 2007-2022), Op. cit., p. 64. Disponible en Internet: [https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.pasto.gov.co%2Fin dex.php%2Fcomponent%2Fphocadownload%2Fcategory%2F135-planes-ambientales%3Fdownload%3D103%3Aplan-de-gestin-integral-de-residuos-slidos-2007-](https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.pasto.gov.co%2Fin dex.php%2Fcomponent%2Fphocadownload%2Fcategory%2F135-planes-ambientales%3Fdownload%3D103%3Aplan-de-gestin-integral-de-residuos-slidos-2007-2022&ei=e3iXU97mFLHRsQSNvoGACg&usg=AFQjCNHE_QcJ7gvnXJQSLCS eO-r9lq5tZg)

[2022&ei=e3iXU97mFLHRsQSNvoGACg&usg=AFQjCNHE_QcJ7gvnXJQSLCS eO-r9lq5tZg](https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.pasto.gov.co%2Fin dex.php%2Fcomponent%2Fphocadownload%2Fcategory%2F135-planes-ambientales%3Fdownload%3D103%3Aplan-de-gestin-integral-de-residuos-slidos-2007-2022&ei=e3iXU97mFLHRsQSNvoGACg&usg=AFQjCNHE_QcJ7gvnXJQSLCS eO-r9lq5tZg)

² Caracterización de los residuos sólidos residenciales generados en la ciudad de Bogotá D.C. 2011, Op. cit., p. 32. Disponible en Internet: [http://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/attachments/Caracterizaci%C3%B3n/RESID ENCIALES%2002-29-2012\(!\).pdf](http://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/attachments/Caracterizaci%C3%B3n/RESID ENCIALES%2002-29-2012(!).pdf)

Con base en los cuadros 8 y 9, se puede observar el alto porcentaje de biorresiduos (relacionados en la categoría de orgánicos) del total generado en las ciudades e igualmente el alto contenido de humedad que tienen los residuos sólidos en las grandes ciudades del país.

2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia se registra un aumento en la generación de los residuos sólidos, según los datos oficiales más recientes, reportados por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), en los 1.098 municipios que tiene el país, se generaron un promedio diario de 26.537 toneladas de residuos en el año 2011, un 8% más en comparación con el año 2010 que fue de 24.603 ton/día²⁸.

Así mismo este informe evidenció que en la gestión de los RSM generados prevalece la disposición final de los residuos sólidos en rellenos sanitarios con un 92.0%, seguido por botaderos a cielo abierto con 5.7%, el 1.3% en plantas integrales y en menores proporciones en actividades como enterramiento, quema y disposición de cuerpos de agua²⁹.

Por otro lado, según las caracterizaciones realizadas por 208 municipios del país en el año 2008, el 80,0% de los residuos son orgánicos, 7,0% plástico, 3,0% papel, 2,0% cartón y vidrio, 1,0% metales y otros tipos de residuos correspondió el 5,0%³⁰.

De acuerdo con lo anterior, las prácticas formales de recuperación y aprovechamiento que se realizan a los residuos sólidos se llevan a cabo en muy bajas proporciones en la mayor parte del territorio nacional, contradictorio con la Política de Gestión de Residuos Sólidos que tiene como propósito impedir o minimizar de la manera más eficiente, los riesgos para la salud humana y el medio ambiente que ocasionan los residuos sólidos, en especial minimizar la cantidad de estos en los sitios de disposición final³¹, tal como lo contempla, la jerarquización de los elementos de la gestión que considera en

²⁸ Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia. Diagnostico 2011. Bogotá D.C. 2011, p. 7. SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS (SSPD). [Consultado 15 de Noviembre de 2013]. Disponible en Internet: http://www.superservicios.gov.co/home/c/document_library/get_file?uuid=eef29b3e-9d73-4adb-8fdd-1e526981c01c&groupId=10122

²⁹ *Ibíd.*, p. 9.

³⁰ Estudio sectorial de aseo 2006-2009. Bogotá D.C. 2009, p 121. SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS (SSPD). [Consultado 10 de Noviembre de 2013]. Disponible en Internet: <http://www.superservicios.gov.co/content/download/893/13717/version/1/file/%282006%29+ESTUDIO+SECTORIAL+ASEO+2006+%E2%80%93+2009.pdf>

³¹ Política para la gestión integral de residuos 1997. Op. cit., p. 20.

su orden: reducción en el origen, aprovechamiento y valorización, tratamiento y transformación, y por último tiene la disposición final³².

Del mismo modo, en su momento el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) realizó y definió por medio de un diagrama de flujo general el proceso de valorización y aprovechamiento de los residuos sólidos, donde se resalta que la mayor eficiencia se inicia con la separación en la fuente, la recolección selectiva y la clasificación de residuos sólidos aprovechables, involucrando también el aprovechamiento de los biorresiduos, mediante procesos de tratamiento biológico como compostaje, lombricultura y biodigestión, aprovechamiento alimenticio (producción de concentrado de alimentos) y aprovechamiento energético (gasificación o biocombustibles)³³.

Resaltando que el manejo de los biorresiduos reviste de mucha importancia tanto por su cantidad como por los impactos sanitarios y ambientales de su disposición, como la generación de lixiviados y gases de efecto invernadero³⁴.

Sin embargo para el desarrollo y ejecución de alternativas tecnológicas para la gestión de residuos sólidos, es esencial contar con estudios de caracterización, que permitan conocer las características de los residuos generados y contar con una base sólida para la proyección de éstos. No obstante, el papel fundamental que tienen las caracterizaciones en el marco de esta problemática, las pocas experiencias reportadas y la falta de información confiable sobre la composición fisicoquímica de los RSM en Colombia, muestra la necesidad de realizar estudios de caracterización con una base estadística que soporte adecuadamente la representatividad y confiabilidad de los resultados, para lo cual existen varios métodos, los cuales son susceptibles de ser evaluados considerando las condiciones particulares del contexto de aplicación.

Con el fin de contar con información confiable sobre la composición fisicoquímica de los residuos sólidos de la ciudad de Barranquilla, como gran centro urbano Colombiano, en pro del planteamiento e implementación de opciones de gestión de los mismos, concretamente de los biorresiduos, en este trabajo, se presenta una evaluación de la metodología desarrollada para la caracterización de los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario Parque Ambiental Los Pocitos, la identificación de opciones de mejoramiento y

³² Decreto 2981 de 2013 (20 diciembre). Op. cit., p. 33.

³³ Construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plásticos, papel y cartón 2008. p. 7. Bogotá 2008. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (MAVDT). [Consultado 10 de Noviembre de 2013]. Disponible en Internet: [http://www.minambiente.gov.co/documentos/4075_170909_criterios_tecnicos_generalidades.p
df](http://www.minambiente.gov.co/documentos/4075_170909_criterios_tecnicos_generalidades.pdf)

³⁴ Perspectivas de aplicación del compostaje de biorresiduos provenientes de residuos sólidos municipales un enfoque desde lo global a lo local. Op. cit., p. 1.

una propuesta metodológica que pretende responder a la necesidad de complementar la metodología actualmente utilizada y garantizar representatividad de los resultados.

2.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Evaluar la metodología actualmente implementada para la caracterización fisicoquímica de los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario Parque Ambiental Los Pocitos, con el fin de proponer opciones de mejoramiento, que considere la composición fisicoquímica de los biorresiduos?

3 JUSTIFICACIÓN

Para la valorización y aprovechamiento de los residuos sólidos es preciso conocer la composición física y química de éstos, ya que sirve de base para identificar sus propiedades y características tanto cualitativas como cuantitativas, permitiendo una mejor gestión de éstos.

Entre las diferentes fracciones, los biorresiduos revisten de mucha importancia si se tiene en cuenta que estos demandan altos requerimientos de tipo técnico y económico para su gestión e igualmente generan impactos negativos en el medio ambiente como la emisión de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático, la emisión de gases precursores de la formación de oxidantes químicos que contaminan la troposfera, generación de lixiviados que contaminan los recursos hídricos y el suelo³⁵. Además que el realizar un manejo inadecuado y las prácticas ineficientes de los residuos aumentan la incidencia de enfermedades tales como dengue, leptospirosis y trastornos gastrointestinales³⁶.

En el caso del área metropolitana de Barranquilla, se ha trabajado en obtener información relacionada con la composición de sus residuos sólidos generados, desarrollando de forma anual estudios de caracterización física de los residuos, contando la ciudad con una metodología para realizar la caracterización en el sitio de disposición final.

Sin embargo existen diferentes soportes estadísticos que se pueden utilizar para el desarrollo de metodologías de caracterización, en el cual el soporte estadístico, permitirá garantizar y validar la confiabilidad de los resultados.

Con relación a lo anterior, surge como necesidad para la presente investigación evaluar esta metodología y proponer opciones de mejoramiento, si es el caso, complementado los resultados con la composición fisicoquímica de los biorresiduos, de manera que permita evaluar sus propiedades y se apoye la identificación de opciones para su gestión y aprovechamiento, aportando así a procesos de selección de la tecnología en la gestión de los residuos sólidos.

³⁵ CHRISTENSEN, Thomas. Introduction to waste management. En: Solid Waste Technology & Management. Wiley: 2011. p 74.

³⁶). Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe 2010. p. 36. Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS), Organización Panamericana de la Salud (OPS) [Consultado 05 de Enero de 2013]. Disponible en Internet: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36466973>

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer opciones de mejoramiento a la metodología implementada para la caracterización de los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario Parque Ambiental Los Pocitos de la ciudad de Barranquilla, complementándola de tal manera que considere la composición fisicoquímica de la fracción de biorresiduos.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Construir un marco de referencia de las metodologías utilizadas para la caracterización de residuos sólidos municipales.
- Revisar la metodología actualmente implementada para la caracterización de los residuos sólidos de la ciudad de Barranquilla, identificando las variables y requerimientos utilizados para la construcción del marco muestral.
- Evaluar la metodología de caracterización de los residuos sólidos revisada, con el fin de proponer opciones de mejoramiento, que considere la composición fisicoquímica de la fracción de biorresiduos.

5 MARCO DE REFERENCIA

5.1 RESIDUOS SÓLIDOS

Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento principalmente sólidos, resultantes del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador presenta para su recolección por parte de la persona prestadora del servicio público de aseo.

Igualmente, se considera como residuo sólido, aquel proveniente del barrido y limpieza de áreas públicas, corte de césped y poda de árboles. Los residuos que no tienen características de peligrosidad se dividen en aprovechables y no aprovechables.³⁷

5.2 CLASIFICACIÓN Y ORIGEN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

El conocimiento del origen, composición y tipo de residuos es básico para el diseño y operación de los elementos fundamentales asociados en la gestión integral de los residuos sólidos, por lo tanto en la cuadro 10, se muestra la procedencia de los residuos e igualmente su clasificación.

³⁷ Decreto 2981 de 2013 (20 diciembre).Op. cit., p. 9.

Cuadro 10. Clasificación y origen de los residuos sólidos

Clasificación	Instalaciones, actividades o localizaciones donde se generan	Tipos de residuos
(1) Según su Fuente		
Domestico	Viviendas aisladas y bloques de baja, mediana y elevada altura (unifamiliar y multifamiliar)	Residuos de comida, papel, cartón, plástico, textiles, cueros, residuos de jardín, madera, vidrio, latas, metales, cenizas, residuos especiales (electrodomésticos, baterías, pilas, aceites, neumáticos, residuos domésticos peligrosos
Comercial	Tiendas, restaurantes, Tiendas, restaurantes, mercados, edificios de oficina, hoteles, moteles, imprentas, estaciones de servicio, talleres mecánicos	Papel, cartón, plásticos, madera, residuos de comida, vidrio, metales, residuos especiales, peligrosos
Institucional	Escuelas, hospitales, cárceles, centros gubernamentales	Como en Comercial
Construcción y demolición	Lugares nuevos de construcción, reparación o renovación de carreteras, derribo de edificios	Madera, acero, hormigón, suciedad, ladrillos, etc.
Servicios municipales (excluyendo plantas de tratamiento	Limpieza de calles, cuencas, parques, playas, paisajismo, otras zonas de recreación	Basura, residuos especiales, barrido, podas
Planta de tratamiento	Plantas de Aguas residuales y potable, procesos de tratamiento industrial	Lodos
Residuos Sólidos Municipales	Todos los citados	Todos los citados
Industrial	Construcción, fabricación ligera y pesada, refinerías, plantas químicas, centrales térmicas, demolición, etc.	Residuos de procesos industriales, materiales de chatarra, etc. Residuos no industriales incluyendo residuos de comida, basura, cenizas, residuos de demolición y construcción, residuos especiales y residuos peligrosos
Agrícolas	Cosechas de campo, árboles frutales, viñedos, ganadería intensiva, granjas, etc.	Residuos de comida, agrícolas, basura, peligrosos
(2)Según su naturaleza	Definición	
Residuos sólidos Aprovechables	Es cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólido que no tiene valor de uso directo o indirecto para quien lo genere, pero que es susceptible de incorporación a un proceso productivo	
Residuos sólidos no aprovechables	Es todo material o sustancia sólida o semisólida de origen orgánico e inorgánico, putrescible o no, proveniente de actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que no ofrecen ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o reincorporación en proceso productivo	
(3) Según su grado de peligrosidad	Definición	
Comunes	Son los residuos generados en el desempeño normal de actividades, como oficinas, pasillos, cafeterías, salas de espera, auditorios y en general en todos los sitios del establecimiento del generador	
Peligrosos	Son los residuos o las combinaciones de residuos que representan una amenaza sustancial, presente o potencial, a la salud pública o los organismos vivos.	

Fuente: (1) G. Tchobanoglous, H. Theisen, S. Vigil. Gestión Integral de residuos sólidos. Ed. McGraw–Hill. Bogotá. Colombia. 1994, p. 47.

(2) Decreto 2981 de 2013 (20 diciembre).Op. cit., p. 9.

(3) Gestión Integral de residuos sólidos. Ed. McGraw–Hill. Bogotá. Colombia. 1994, Op. cit., p. 51.

5.3 CONCEPTOS Y PROPIEDADES DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

5.3.1 Producción per cápita (ppc). Es la generación unitaria de residuos sólidos, es decir se refiere a generación de residuos por persona en un-día se expresa en kg/hab.día³⁸.

5.3.2 Cantidad total de residuos sólidos. Es la cantidad total de residuos sólidos generados por una población en un tiempo determinado (hora, día, mes, etc.), expresándose en ton, kg, gr, etc.³⁹

5.3.3 Propiedades físicas. Las características físicas más importantes que se deben tener presente para los sistemas de recolección, transporte y tratamiento de los residuos sólidos municipales son:

- **Humedad:**

Este parámetro es muy variable normalmente se expresa de dos formas. En el método de medición peso-húmedo, la humedad de una muestra se expresa como un porcentaje del peso del material (residuo) húmedo; en el método de peso-seco, se expresa como un porcentaje del peso seco del material. Ésta depende de varios factores como la composición de los residuos, la estación del año, las condiciones ambientales de humedad y las condiciones meteorológicas, donde el mayor aporte es de residuos orgánicos y en pequeña proporción de residuos sintéticos. La importancia de conocer el grado de humedad en la gestión de los residuos se fundamenta en la generación de lixiviados e igualmente es determinante para la aplicación de tratamientos como la incineración, recuperación energética y procesos de reciclaje⁴⁰.

- **Peso específico:**

Se define como el peso de un material por unidad de volumen (por lo general Kg/m^3), denominado también como densidad. La densidad de los residuos sólidos depositados depende del grado de compactación, es decir ya sea en la bolsa de residuos, contenedor, carro recolector, en el relleno sanitario, etc.,

³⁸ Ingeniería Ambiental. Segunda edición. Ed. Pearson Educación. México 1999, Op. cit., p. 535.

³⁹ Ibíd., p. 535.

⁴⁰ Características físicas de los residuos sólidos urbanos. Enciclopedia Virtual [Consultado el 9 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <http://www.ambientum.com/enciclopedia/residuo/1.26.31.06r.html>

siendo importante conocer el sitio donde se extrae la muestra⁴¹. Este parámetro es importante para poder aplicar opciones o alternativas para su gestión.

- **Tamaño de los Componentes:**

Es esencial para determinar las dimensiones de los sistema de recolección y de procesos mecánicos de separación (recuperación), incineración y transformación biológica, donde las fracciones más voluminosas son cartón, papel, plástico y madera⁴².

5.3.4 Propiedades Químicas. La información de la composición química de los residuos sólidos es importante en la evaluación de opciones de aprovechamiento y recuperación de los mismos. Estas son:

- **Análisis elemental de los componentes de los residuos sólidos:**

Los elementos químicos más importantes para analizar en los residuos sólidos generados son Carbono (C), Hidrogeno (H), Oxígeno (O), Nitrógeno (N), Azufre (S) y cenizas. Con estos análisis se determina la composición química de la materia orgánica de los residuos sólidos municipales, siendo importante para procesos de combustión y transformación biológica⁴³.

- **El pH:**

Indica el grado de acidez y alcalinidad de los residuos sólidos, siendo un parámetro clave para llevar un control en la generación de lixiviados, que resulta de la degradación de éstos⁴⁴.

⁴¹ Gestión Integral de residuos sólidos. Ed. McGraw–Hill. Bogotá. Colombia. 1994, Op. cit., p. 82.

⁴² Ingeniería Ambiental: Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión” Vol. III. Ed. McGraw–Hill. Aravaca. España. 1999, Op. cit., p. 860.

⁴³ Gestión Integral de residuos sólidos”. Ed. McGraw–Hill. Bogotá. Colombia. 1994, Op. cit., p. 92.

⁴⁴ Lagerkvist, Anders; Ecke, Holger. Waste characterization: Approaches and methods. Solid Waste Technology & Management Vol. 1. Editor Thomas H. Christensen. Ed Blackwell Publishing Ltd. Lyngby. Denmark. 2011, p. 74.

- **Materia Inorgánica:**

El contenido inorgánico representa una amplia variedad de sustancias, destacando los nutrientes (fósforo, potasio y sulfuros), sales (sulfato, bromuro, sodio, calcio y magnesio) y metales pesados (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)⁴⁵.

- **Poder Calorífico:**

Es la capacidad potencial de Calor que puede desprender un material o residuo cuando es llevado a un proceso de combustión, sus unidades son kcal/kg. Este parámetro permite determinar qué tipo de residuos se pueden integrar a procesos biológicos, tratamiento térmico conversión de energía⁴⁶.

5.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS ESTADÍSTICOS.

A continuación se definirán ciertos términos que son importantes y se abordarán posteriormente (véase Cuadro11).

Cuadro 11. Definición de términos estadísticos

Muestreo	Es el proceso mediante el cual se selecciona una muestra a partir de la población. Puede ser Muestreo Aleatorio Simple (MAS), Muestreo Estratificado (ME), Muestreo por Conglomerados (MC).
Población Objetivo	Es la colección completa de observaciones que se desea estudiar.
Muestra	Es un subconjunto de la población.
Unidad de muestreo	Es la mínima o máxima agrupación de unidades de observación que se va a utilizar para llegar a las unidades de observación.
Unidad de observación	Es el objeto sobre el cual se realiza una medición. Esta es la unidad básica de observación, a veces llamada elemento.
Variable de interés	Es la característica propia de los individuos sobre la que se realiza la inferencia para resolver los objetivos de la investigación.

Fuente: Sharon L.,Lohr. Muestreo: Diseño y Análisis. Ed International Thomson Editores. México. 2000, p3.

⁴⁵ Waste characterization: Approaches and methods. Solid Waste Technology & Management Vol. 1. Editor Thomas H. Christensen. Ed Blackwell Publishing Ltd. Lyngby. Denmark. 2011, p. 80.

⁴⁶ Waste characterization: Approaches and methods. Solid Waste Technology & Management Vol. 1. Editor Thomas H. Christensen. Ed Blackwell Publishing Ltd. Lyngby. Denmark. 2011, p. 80.

Cuadro 12. (Continuación)

Marco muestral	Es la lista de unidades de muestreo, es decir la lista o los procedimientos que permiten identificar a todos los elementos de la población objetivo.
Parámetro	Es un valor que resume los datos que se obtienen a partir de las observaciones de una variable en la población. Por ejemplo Promedio (μ), Varianza (σ^2).
Estimador	Es un valor que resume los datos que se obtienen a partir de las observaciones de una variable en la muestra. Por ejemplo Promedio (\bar{X}) Varianza (S^2).

Fuente: Sharon L., Lohr. Muestreo: Diseño y Análisis. Ed International Thomson Editores. México. 2000, p3.

5.5 CLASES DE MUESTREO ESTADÍSTICO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS.

5.5.1 Muestreo aleatorio simple. Es un método que tiene como base la aleatoriedad, siendo el más elemental. Este método es de referencia para los demás tipos de muestreo. Se trata de un muestreo probabilístico donde todos los elementos tienen la misma probabilidad de ser parte de la muestra y cada una de las muestras posibles tiene la misma probabilidad de ser elegida. La selección de las unidades de muestreos se realiza mediante tablas de números aleatorios o programas computacionales, siendo definido mediante la siguiente ecuación⁴⁷:

$$n = \frac{Z^2 N \sigma^2}{(N - 1)e^2 + Z^2 \sigma^2}$$

Dónde:

n: Tamaño de la muestra

N: Tamaño de la población

σ^2 : Desviación estándar de la población

e^2 : Error de muestreo

Z^2 : Nivel de confianza

⁴⁷ Vivanco, Manuel. Muestreo estadístico, diseño y aplicaciones. p. 23-26. [Consultado 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=-_gr5l3LbpIC&oi=fnd&pg=PA13&dq=DEFINICI%C3%93N+DE+PARAMETROS+ESTADISTICO+S+EN+estudios++MUESTREOS&ots=C-hUhy-Hao&sig=dsOa6LtFSYyXDRACNxvtmiMAnNw#v=onepage&q&f=false. p. 69.

5.5.2 Muestreo estratificado. Es el muestreo en el cual las unidades o elementos de la población se agrupan con base en la homogeneidad de alguna característica llamada variable de estratificación (usualmente de un factor del medio de tipo topográfico, vegetación, barrios, urbanizaciones, etc.), formando los estratos, los cuales son homogéneos dentro de sí y mutuamente excluyente con los demás estratos. Para elaborar los estratos adecuadamente se requiere entre otras cosas, una selección adecuada de variables “auxiliares”, definir el número óptimo de grupos a formar. Posteriormente dentro de cada uno de los estratos se eligen las unidades de muestreo aleatoriamente, independientemente una de otra, siendo definido mediante la siguiente ecuación⁴⁸:

$$n = \frac{Z^2 N \sum w_i S_i^2}{(N - 1)e^2 + Z^2 \sum w_i S_i^2}$$

$$w = \frac{N_i}{N}$$

Dónde:

n: Tamaño de la muestra

N: Tamaño de la población total

w: Peso del estrato en la muestra

N_i: Tamaño de la población del estrato

e²: Error de muestreo

Z²: Nivel de confianza

S_i²: Desviación estándar del estrato

⁴⁸ Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Diseño de la muestra en proyectos de encuesta. México 2011, vol. 2. p. 21.

Cuadro 13. Comparación de las clases de muestreo

Clase de Muestreo	Característica ¹	Observaciones ²	Ventajas ¹	Desventajas ¹
Muestreo Aleatorio Simple	*Se selecciona una muestra de tamaño n de una población de N unidades, cada elemento tiene una probabilidad de inclusión igual y conocida de n/N	*Eficiente en poblaciones homogéneas. *Se debe Determinar un marco de muestreo acorde para el estudio	*Sencillo y de fácil comprensión *Calculo rápido de los estimadores (media y varianza) *Se basa en la teoría estadística y, por tanto, existen paquetes informáticos para analizar los datos	*Requiere un listado de las características de la población de estudio (parámetros a estudiar). * Cuando se trabaja con muestras pequeñas es posible que no se represente a la población adecuadamente
Muestreo Estratificado	* Se estratifica la muestra según las variables de interés del estudio, por lo cual se debe conocer la composición estratificada de la población objetivo. * Una vez calculado el tamaño muestral apropiado, éste se reparte de manera proporcional entre los distintos estratos definidos en la población.	*Utiliza el muestreo aleatorio simple como soporte , permitiendo tener una mayor representatividad de la población *Se debe Determinar un marco muestral para cada estrato *Se debe Garantizar la representatividad de todas las clases de grupos o estratos establecidos	* Se requiere que la muestra represente adecuadamente a la población en función de unas variables seleccionadas o de interés del estudio *Se obtiene estimaciones más precisas *Su objetivo es conseguir una muestra lo más semejante posible a la población en lo que a la o las variables se refiere	*No siempre las características disponibles para formar los estratos son las más adecuadas para hacer las comparaciones *Se hace necesario conocer la distribución en la población de las variables utilizadas para la estratificación.

Fuente: ¹ Diseño de la muestra en proyectos de encuesta. México 2011, vol. 2. Op, cit., p. 14.

5.6 METODOLOGÍAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

El diseño, implementación y gestión del sistema de gestión de los residuos sólidos en una población implica conocer características como la generación per cápita, densidad, composición fisicoquímica⁴⁹, lo cual se obtiene a partir de estudios de caracterización.

Tal como lo reporta Dahlén, no existe todavía una norma estándar que se utilice para el análisis de la composición de los residuos sólidos, en realidad existen diferentes métodos, normas y metodologías que se han implementado

⁴⁹ Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) & Organización Panamericana de la Salud (OPS). Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos. En: Revista AIDIS 2006, no 1, p. 1.

en los estudios de caracterización, e incluso dentro de un mismo país pueden existir varios métodos tal como sucede en Suecia⁵⁰.

A continuación se mencionan algunos métodos, metodologías y normas utilizadas para la caracterización de los residuos sólidos:

5.6.1 Métodos para determinar la generación de residuos sólidos municipales. La razón principal para medir las cantidades de residuos sólidos generadas es obtener datos que se puedan utilizar para desarrollar e implementar programas efectivos de la gestión de los residuos sólidos⁵¹. No obstante para determinar esta cantidad, existen varios métodos, entre los principales están:

- **Análisis de Pesada Total:**

Este método consiste en el pesaje de la totalidad de los residuos sólidos que se transporta en el vehículo recolector de una ruta determinada, cuando ingresan a la estación de transferencia, a las plantas de tratamiento, o por último al relleno sanitario. Este método también es conocido como análisis del número de cargas, donde el pesaje de los residuos se realiza mediante básculas que se encuentran a la entrada de las instalaciones en un periodo de tiempo determinado. Las tasas de generación por unidad se determinan utilizando datos de campo y cuando sea necesario datos publicados⁵².

- **Análisis peso-volumen:**

Este método determina el peso y el volumen de los camiones (cargas) que llegan a las estaciones de transferencia, plantas de tratamiento y relleno sanitarios, ya que los carros son pesados a la entrada de estas instalaciones. Con base en el volumen de carga de los camiones se puede determinar el peso específico, permitiendo con éste tener una idea del tipo de material contenido en los carros, este método es muy utilizado en plantas de tratamiento de materiales de construcción y demolición⁵³.

⁵⁰ Dahlén, L., Lagerkvist, A. Methods for household waste composition studies. En: Revista Elsevier 2008, no 28. p.1101.

⁵¹ Gestión Integral de residuos sólidos". Ed. McGraw-Hill. Bogotá. Colombia. 1994, Op. cit., p. 146.

⁵² Ibid., p. 149

⁵³ Runfola, Jaime. Gallardo, Andrés. Análisis comparativo de los diferentes métodos de caracterización de residuos urbanos para su recolección selectiva en comunidades urbanas. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Barranquilla, 24 y 25 de Septiembre de 2009. p. 5. . [Consultado 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <http://es.scribd.com/doc/118013562/Analisis-comparativo-de-los-diferentes-metodos-de-caracterizacion-de-residuos-urbanos-para-su-recoleccion-selectiva-en-comunidades-urbanas>

- **Análisis por muestreo estadístico:**

Este método implica la toma de un número representativo de muestras de residuos sólidos de alguna de las fuentes generadoras, durante un periodo de tiempo, determinándose de estas los pesos totales (cantidad de residuos generados) y posteriormente los componentes o clases de residuos que integra las muestras, esto se desarrolla por medio de un análisis estadístico y el número de muestras dependerá de la precisión que se quiere alcanzar, aplicándose métodos estadísticos⁵⁴.

5.6.2 Normas aplicadas a la caracterización de los residuos sólidos. De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada se encontró que existen algunas normas internacionales que se emplean para la caracterización de los residuos sólidos, las cuales establecen los lineamientos y control en los procedimientos, operaciones, mediciones, además que permiten llevar una estadística de la generación y composición de los residuos sólidos, destacando las siguientes:

- **Normas Oficiales Mexicanas:**

En México se han establecido normas técnicas para realizar la caracterización de los residuos sólidos. La NMX-AA-61-1985 se estableció para determinar la generación per cápita, a partir de la información obtenida de un muestreo estadístico aleatorio en campo, con duración de 8 días para cada uno de los estratos socioeconómicos de la población⁵⁵. La NMX-AA-015-1985 (método de cuarteo)⁵⁶ y la NMX-AA-019-1985 (peso volumétrico in situ)⁵⁷ se ejecutan para la toma y procesamiento de las muestras. La NMX-AA-022-1985 (composición de subproductos) establece la selección y el método para la clasificación de subproductos, estas normas se aplican para residuos sólidos municipales⁵⁸.

⁵⁴ *Ibíd.*, p. 5.

⁵⁵ SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL (SECOFI). Dirección General de Normas (1985). Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuo sólido municipales-Determinación de la generación. Norma Mexicana NMX-AA-061-1985p. 1.

⁵⁶ SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL (SECOFI). Dirección General de Normas (1985). Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuo sólido municipales-Método de Cuarteo. Norma Mexicana NMX-AA-015-1985p. 3.

⁵⁷ SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL (SECOFI). Dirección General de Normas (1985). Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuo sólido municipales-Peso volumétrico "in situ". Norma Mexicana NMX-AA-019-1985p. 1.

⁵⁸ Estrella Guzmán, Alberto Rodrigo. Manejo básico y normatividad para el control de los residuos sólidos urbanos del distrito federal. Trabajo de grado ingeniero sanitario. Ciudad de México, Distrito Federal: Instituto Politécnico Superior de Ingeniería y Arquitectura, 2006. p. 23.

- **Reglamento de la Comunidad Europea:**

El reglamento de la comunidad europea N° 2150/2002 del parlamento europeo y del concejo del 25 de noviembre de 2002, establece las estadística sobre residuos sólidos municipales, que tiene como propósito tener datos estadísticos de escala global, nacional y regional referente con la generación, la recuperación y eliminación de residuos sólidos, del mismo modo la norma solamente plantea como se deben de documentar los datos estadísticos para ser planteado en el Eurostat, para documentar la estadística⁵⁹.

- **Norma ASTM D-5231-92 (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales):**

Es el método de ensayo estándar para la determinación de la composición física de residuos sólidos municipales sin procesar, establece unos procedimientos para la medición de los residuos sólidos mediante una selección y caracterización manual, aplicada para determinar la composición media de los residuos sólidos municipales, con base en la recolección y clasificación de un determinado número de muestras en un periodo mínimo de una semana⁶⁰. El método establece como unidad de observación los vehículos recolectores (cargados de residuos) que llegan a un sitio de tratamiento de residuos específico (estación de transferencia, relleno sanitario, etc.) para el muestreo, teniendo de referencia el método de cuarteo, la clasificación manual se establece para un mínimo de 13 categorías de residuos⁶¹, a la vez especifica cómo se debe realizar el registro de los datos y presentación de los resultados⁶².

⁵⁹ El Parlamento Europeo y el Concejo de la Unión Europea (2002).Regulación N° 2150/2002 del Parlamento Europeo y del Concejo de 25 de Noviembre de 2002. Estadística sobre residuos. Jornada Oficial de Comunidades Europea L332. p. 1.

⁶⁰ Análisis comparativo de los diferentes métodos de caracterización de residuos urbanos para su recolección selectiva en comunidades urbanas. Op. cit. p. 7. Disponible en internet: <http://es.scribd.com/doc/118013562/Analisis-comparativo-de-los-diferentes-metodos-de-caracterizacion-de-residuos-urbanos-para-su-recoleccion-selectiva-en-comunidades-urbanas>

⁶¹ Methods for household waste composition studies. En: Revista Elsevier 2008, no 28. Op. cit. p. 1101.

⁶² Análisis comparativo de los diferentes métodos de caracterización de residuos urbanos para su recolección selectiva en comunidades urbanas. Op. cit. p. 7. Disponible en internet: <http://es.scribd.com/doc/118013562/Analisis-comparativo-de-los-diferentes-metodos-de-caracterizacion-de-residuos-urbanos-para-su-recoleccion-selectiva-en-comunidades-urbanas>

6 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE ASEO DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA.

El propósito de este proyecto se desarrolla para la gestión de los biorresiduos de origen municipal en la ciudad de Barranquilla, por lo cual se hace necesario conocer el contexto de su gestión, involucrando aspectos generales de la ciudad, técnicos y operativos del sistema de aseo, tal como se describe a continuación:

6.1 ASPECTOS GENERALES DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA

La ciudad de Barranquilla, capital del departamento de Atlántico, ubicada sobre la margen occidental del río Magdalena a 7.5 km de su desembocadura en el mar Caribe, ocupa una extensión de 154km², situada al oriente a los 4 msnm y 98 msnm al occidente, cuyo clima es de tipo tropical seco, con una temperatura promedio de 27.4°C y una precipitación anual de 826 mm⁶³, con una población proyectada para el año 2013 de 1.386.865 habitantes⁶⁴.

Es importante destacar que la ciudad es el centro económico y cultural del departamento, por consiguiente tiene un alto flujo de personas provenientes de otros municipios.

6.2 ASPECTOS TÉCNICOS Y OPERATIVOS DEL SISTEMA DE ASEO DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA.

La empresa responsable del servicio es la Sociedad de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Barranquilla, Triple A S.A. E.S.P., encargada de atender los servicios de facturación, barrido y limpieza de vías públicas, recolección domiciliaria y transporte, recolección de escombros, recolección de residuos especiales y disposición final, siendo su cobertura del 100% del área urbana. A continuación se describe de forma general algunos aspectos del sistema de aseo de la ciudad.

⁶³[Consultado 18 de febrero de 2014]. Disponible en internet: <http://www.barranquilla.gov.co/.B> Alcaldía de Barranquilla.

⁶⁴Indicadores. Alcaldía de Barranquilla. [Consultado el 07 de Marzo del 2014]. Disponible en internet: <http://www.barranquilla.gov.co/conoce-a-barranquilla/indicadores>.

6.2.1 Barrido y limpieza de áreas públicas. El barrido y limpieza de áreas públicas se desarrolla de dos maneras, de forma manual, que consiste en realizar la limpieza con operarios en las vías y áreas públicas adjudicadas mediante el cumplimiento del microrroteo previamente diseñado, utilizando para este fin herramientas como cepillos, palas y carritos portables. El producido de este barrido es empacado en bolsas plásticas, posteriormente son transportados al relleno sanitario, donde se dispondrá en el sitio o celda autorizada por el personal que opera en el relleno.

De forma mecánica, utilizan barredoras de succión mecánica, palas y cepillos, las cuales ejecutan programas en frecuencias unisemanales en jornada diurna como nocturna.

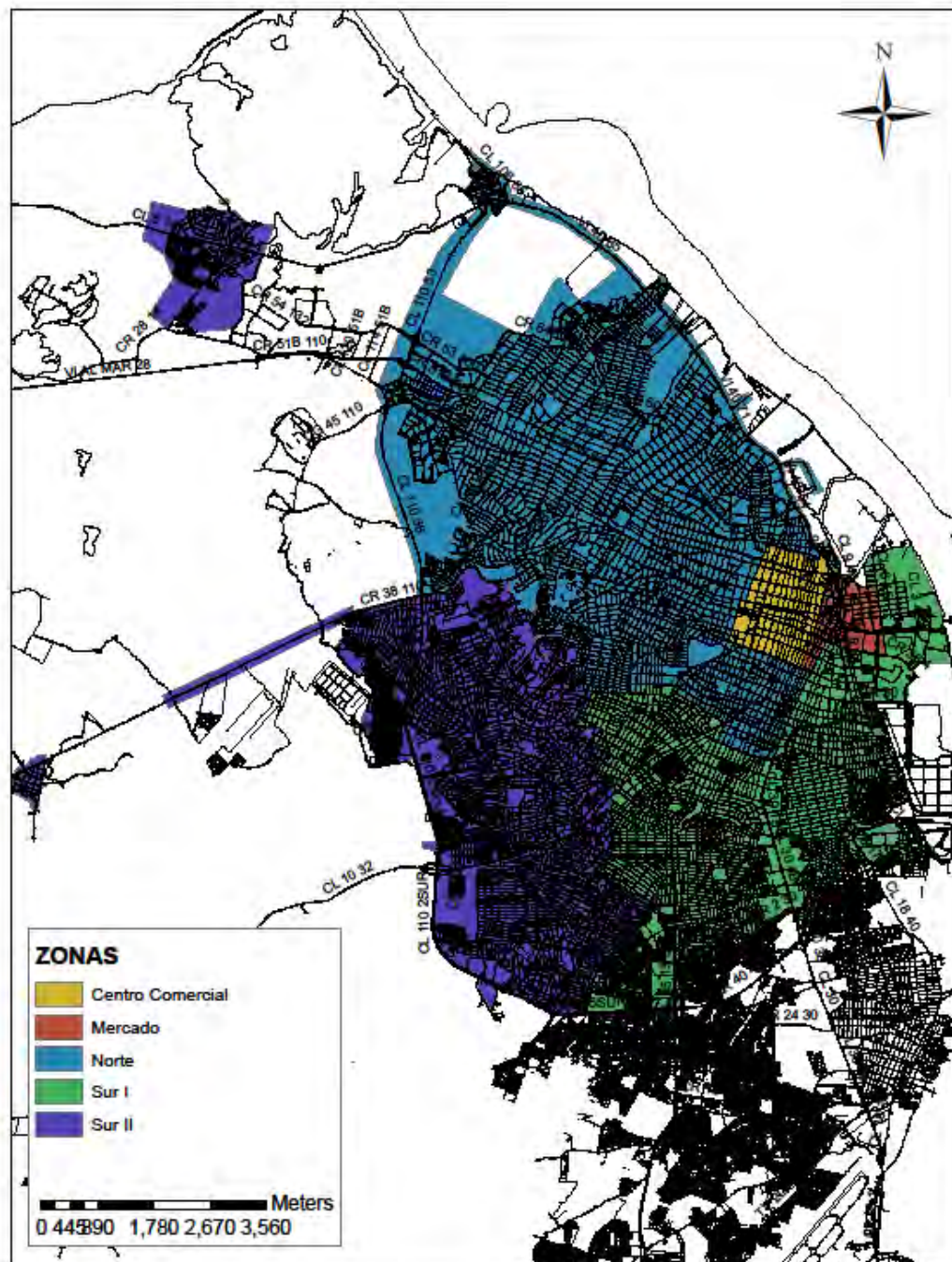
6.2.2 Recolección y transporte de los residuos sólidos. El servicio de aseo de la ciudad se encuentra zonificado en 4 partes, siendo éstas⁶⁵:

- Norte.
- Centro Comercial y Mercado Público (CCMP).
- Sur Occidente (Sur I).
- Sur (Sur II).

En la figura 1 se muestra la zonificación del área metropolitana de Barranquilla, evidenciando que la zona Norte es el área de mayor extensión en comparación por ejemplo con las zonas de Centro Comercial y Mercado Publico (CCMP).

⁶⁵ Triple A S.A. E.S.P.2014

Figura 1. Zonificación del servicio de aseo en el Área metropolitana de Barranquilla

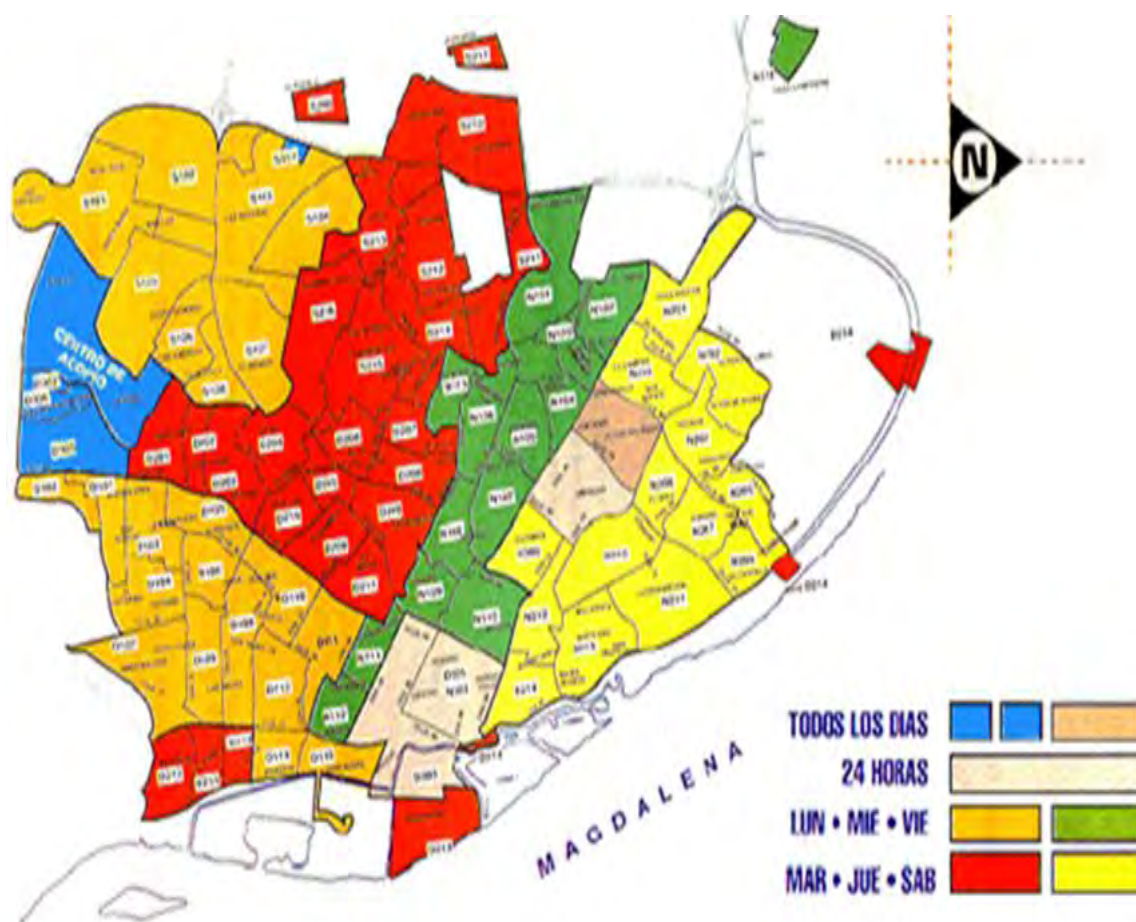


Fuente: Información Suministrada por Triple A S.A. E.S.P. 2014 (datos de octubre del 2013).

En la figura 2, se presenta el horario de recolección de residuos sólidos para pequeños productores y en la figura 3, se presenta las rutas de grandes productores de la ciudad de Barranquilla.

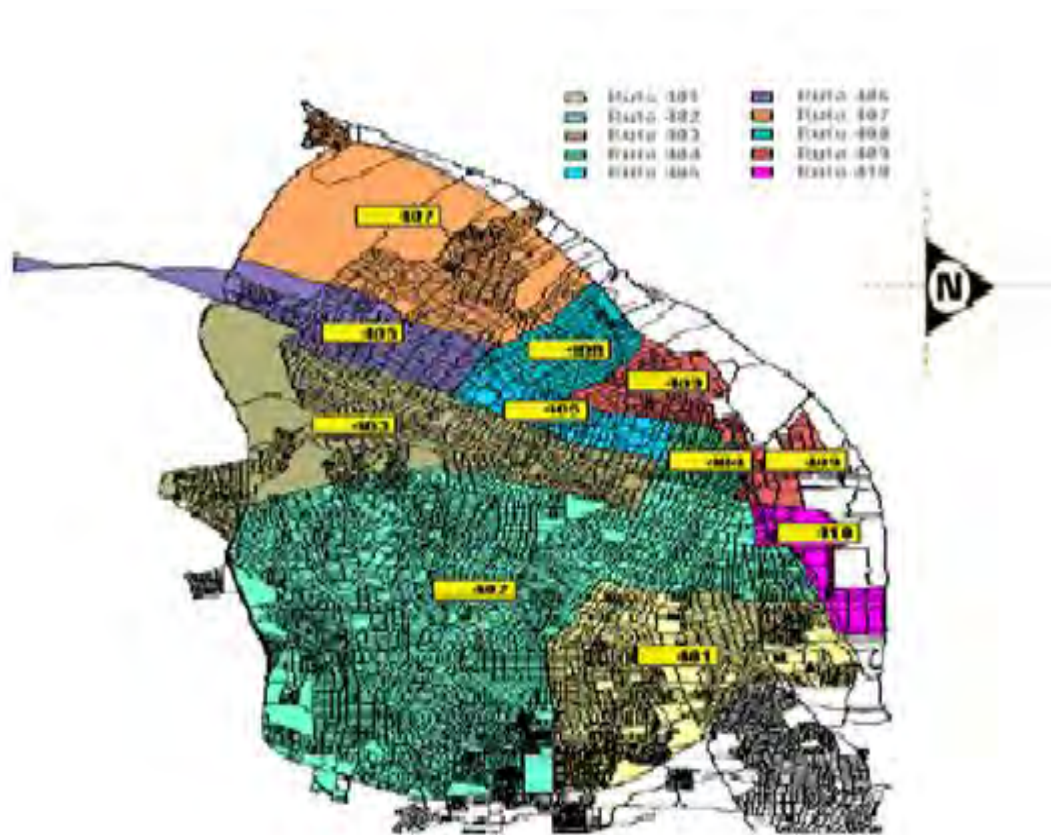
⁶⁶

Figura 2. Horario de prestación del servicio de aseo para pequeños productores en el área metropolitana de Barranquilla



⁶⁶ Fase I y II Dimensión de categorización: Análisis de la producción de residuos sólidos de pequeños y grandes productores, determinación de factores de producción de los usuarios residenciales, revisión de la regulación vigente y cálculo de costos asociados a la realización de aforo de residuos sólidos en Colombia. p 165. Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA). [Consultado el 03 de febrero del 2014]. Disponible en internet : http://www.cra.gov.co/apc-aa-files/36666164373034386433323930303464/dimension_categorizacion_1.pdf

Figura 3. Rutas de prestación del servicio de aseo a grandes productores en el área metropolitana de Barranquilla⁶⁷



La recolección de los residuos sólidos se realiza de lunes a sábado, solamente se presta el servicio en ocasiones los domingos para los grandes productores.

6.2.3 Disposición final de los residuos sólidos de la ciudad de Barranquilla. Los residuos sólidos generados en la ciudad comenzaron a disponerse, en el Relleno Sanitario Parque Ambiental Los Pocitos, a partir del 02 de Marzo del año 2009, antes de esta fecha eran dispuestos en el relleno sanitario de Henequén, el cual se operó durante 18 años⁶⁸.

⁶⁷ Fase I y II Dimensión de categorización: Análisis de la producción de residuos sólidos de pequeños y grandes productores, determinación de factores de producción de los usuarios residenciales, revisión de la regulación vigente y cálculo de costos asociados a la realización de aforo de residuos sólidos en Colombia. p 165. Disponible en internet : http://www.cra.gov.co/apc-aa-files/36666164373034386433323930303464/dimension_categorizacion_1.pdf

⁶⁸ Aluna Consultores Limitada. Estudio nacional del reciclaje y los recicladores. Dimensión institucional: Caracterización del servicio de aseo en los municipios objeto de estudio. Bogotá, Marzo 2011. p. 69.

El relleno sanitario Parque ambiental Los Pocitos es un relleno regional, en el cual se dispusieron para el año 2013 los residuos procedentes de los municipios de Barranquilla, Soledad, Puerto Colombia, Malambo, Galapa, Sabanalarga y Piojo (hasta agosto)⁶⁹.

Está localizado en el municipio de Galapa en el kilómetro 11 en la vía Barranquilla-Juan Mina Tubará y presta sus servicios de disposición final de residuos sólidos generados en actividades domiciliarias, comerciales e institucionales, cuyo diseño y construcción se efectuó bajo los parámetros técnicos y ambientales que rigen actualmente la normatividad Colombiana, teniendo un área de 135 hectáreas de las cuales 75 hectáreas están dispuestas para operación y el resto son distribuidas en las edificaciones, sistemas de tratamiento de lixiviados y áreas de protección ambiental, tal como se muestra en la figura 5.⁷⁰

Figura 4. Relleno Sanitario Parque Ambiental los Pocitos



Fuente: Triple A de Barranquilla S.A. E.S.P. Recubrimiento con Geomembrana del vaso No5 del relleno sanitario los Pocitos. Marzo 2013.p. 1

La vida útil del Parque Ambiental Los Pocitos es de 30 años y cuenta con capacidad para albergar un volumen de residuos sólidos igual a 20.000.000 m³⁷¹.

⁶⁹Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Informe ejecutivo de gestión sociedad de acueducto, alcantarillado y Aseo de Barranquilla S.A. E.S.P. Bogotá, Noviembre 2012.p 14.

⁷⁰ Triple A de Barranquilla S.A. E.S.P. Recubrimiento con Geomembrana del vaso No5 del relleno sanitario los Pocitos. Marzo 2013.p. 1

⁷¹Ibid., p. 4.

6.2.4 Número de suscriptores y cantidad de residuos dispuestos. El número de suscriptores del sistema de aseo del área metropolitana de Barranquilla, de acuerdo con el uso, se presenta en el cuadro 13.

Cuadro 14. Número de suscriptores al servicio de aseo del área metropolitana de Barranquilla

NUMERO DE USUARIOS DEL SEVICIO DE ASEO					
Clase de uso	Barranquilla	Galapa	Puerto Colombia	Sabanalarga	TOTAL AAA
Estrato 1	81.098,00	4.289,00	2.416,00	6.791,00	94.594,00
Estrato 2	55.024,00	2.424,00	2.206,00	3.454,00	63.108,00
Estrato 3	60.489,00	233,00	2.275,00	1.386,00	64.383,00
Estrato 4	32.958,00	1,00	1.115,00	26,00	34.100,00
Estrato 5	13.252,00	0,00	128,00	0,00	13.380,00
Estrato 6	9.168,00	0,00	535,00	0,00	9.703,00
Industrial	413,00	11,00	4,00	3,00	431,00
Oficial	527,00	34,00	62,00	58,00	681,00
Especial	161,00	0,00	7,00	1,00	169,00
Comercial	23.338,00	214,00	344,00	470,00	24.366,00
TOTAL	276.428,00	7.206,00	9.092,00	12.189,00	304.915,00

Fuente: Información Suministrada por Triple A S.A. E.S.P. 2014 (datos de octubre del 2013).

En el cuadro 13 se puede observar que Barranquilla es el municipio atendido con mayor número de suscriptores, así como también es la ciudad donde proviene la mayor cantidad de residuos sólidos dispuestos en el Relleno Sanitario (véase Cuadro 14).

Cuadro 15. Cantidad de residuos sólidos dispuestos por municipio en el relleno sanitario Parque Ambiental Los Pocitos

Municipio	Año (toneladas)				
	2009	2010	2011	2012	2013
Barranquilla	381.221,89	484.693,01	474.333,17	451.577,32	486.496,81
Galapa	4.618,75	6.121,31	6.983,95	7.176,12	8.979,51
Puerto Colombia	7.379,93	8.995,27	10.236,02	10.772,05	14.460,21
Sabanalarga	147,7	-	6.849,37	13.089,13	14.198,91
Total	395.377,27	501.819,59	500.413,51	484.626,62	526.148,44

Fuente: Información Suministrada por Triple A S.A. E.S.P. 2014 (datos de octubre del 2013).

7 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Este trabajo de grado se efectuó en el marco del proyecto de doctorado que tiene como título “Selección de opciones tecnológicas para la gestión de los biorresiduos municipales en grandes centros urbanos. Propuesta metodológica para minimizar los impactos ambientales negativos” mediante el diseño de una propuesta metodológica de caracterización de los biorresiduos de origen municipal de la ciudad de Barranquilla dispuestos en el relleno sanitario Parque Ambiental los Pocitos.

A continuación se describen las actividades desarrolladas para cumplir con cada uno de los objetivos específicos planteados.

7.1 OBJETIVO ESPECIFICO 1.

7.1.1 Construcción de un marco de referencia de las metodologías utilizadas para la caracterización de residuos sólidos municipales. Se realizó una investigación de:

- Conceptos de residuos sólidos y estadística que permitieron abordar el proyecto.
- Estudios e informes de diseño e implementación de metodologías de caracterización de residuos sólidos municipales.

Lo anterior permitió tener los fundamentos técnicos y teóricos para el desarrollo del estudio.

7.2 OBJETIVO ESPECIFICO 2.

7.2.1 Revisión de la metodología existente para la caracterización de los residuos sólidos del área metropolitana de Barranquilla. En el marco del estudio fue necesario contar con información operativa pertinente de la operación del servicio de aseo y del relleno sanitario Parque Ambiental los Pocitos la cual fue solicitada a la empresa encargada Triple A S.A. E.S.P, permitiendo con esta tener un contexto del sistema de aseo.

La información se relaciona en los siguientes cuadros

Cuadro 16. . Listado del parque de carros recolectores existente y rutas de recolección por zonas

Ítem	Ruta	Límites de la ruta	Turno	Tipo vehículo	No. Interno	Capacidad (Y ³ =Yardas)	Barrios Predominantes
------	------	--------------------	-------	---------------	-------------	------------------------------------	-----------------------

Además de la información solicitada anteriormente, se requirió conocer otros aspectos importantes para el desarrollo de la investigación.

Cuadro 17. Información operativa del sistema de aseo

¿Área atendida y rutas de recolección realizada por los carros recolectores?	Días que realizan la recolección de los residuos en la ciudad, horarios que inician las labores y barrios que atiende en lo posible con su clasificación socioeconómica.
¿En el relleno solamente se disponen los residuos sólidos de Barranquilla?	Es decir, se disponen residuos de otros municipios.
¿Información histórica disponible sobre la cantidad de residuos sólidos recolectados y dispuesto en el relleno sanitario desde el año de su operación (2009) hasta el 2013?	Cantidad de residuos recolectados a los usuarios y cantidad de estos dispuestos en el relleno sanitario, preferiblemente que los datos sean de todos los meses del año.
¿Cuál es el promedio de residuos diarios que se reciben en el relleno sanitario?	Cantidad de residuos diarios provenientes de Barranquilla.
Se requiere la metodología de la caracterización que se sigue actualmente	Documento donde este descrita.
¿Cómo es la jornada de operación en el relleno sanitario?	Las labores se realizan todos los días de la semana y las 24 horas.

Sin embargo para el desarrollo de la investigación fue necesario solicitar a la empresa prestadora la metodología diseñada por ellos, de tal manera que con la información de los cuadros anteriores se cumpliera con el propósito del trabajo.

Con la información solicitada se llevó a cabo la revisión de la metodología realizada por la empresa prestadora del servicio de aseo, permitiendo identificar las variables y requerimientos utilizados en su marco muestral, de forma que cumplieran con el propósito, consistiendo en la caracterización de los residuos sólidos que son dispuestos en el relleno sanitario Parque Ambiental Los Pocitos.

7.3 OBJETIVO ESPECIFICO 3.

7.3.1 Evaluación de la metodología de caracterización de la empresa prestadora del servicio de aseo. Se llevó a cabo la identificación de necesidades de mejoramiento, evaluando la consideración de aspectos importantes y propios de la población en la metodología actualmente empleada, de tal manera que le permita tener una representatividad de los residuos sólidos en cada uno de los municipios pertinentes al área metropolitana de Barranquilla.

Con la identificación de las opciones de mejoramiento, se consideró necesario realizar una propuesta metodológica que fuera soportada, de manera que al desarrollarse contara con datos propios de la población, permitiendo obtener una representatividad de los resultados del área de estudio, para fines de la investigación se diseñó para la ciudad de Barranquilla, sin embargo esta puede ser aplicada a cualquier municipio.

7.3.2 Construcción de una propuesta de diseño de una metodología. De caracterización. La propuesta metodológica diseñada se fundamentó con el mismo marco muestral de la metodología revisada, incorporando las opciones de mejoramiento planteadas. La propuesta se realizó para determinar la cantidad de residuos sólidos que se requieren de cada categoría establecida de la ciudad de Barranquilla, para la caracterización de éstos en el sitio de disposición final.

Para la obtención de la cantidad de los residuos fue necesario especificar que se desarrolla en función del tamaño de la muestra de la población por categoría (grupos de la ciudad de Barranquilla), la estimación de la varianza y la media, siendo esta última también la generación de residuos sólidos por suscriptor de cada categoría.

Con lo anterior se seleccionó un método estadístico que considerara una participación representativa de cada una de las categorías en la conformación de la muestra.

Una vez seleccionado el método estadístico, se identificó que para su aplicación era necesario ejecutar una prueba piloto con el fin de obtener los valores de los estimadores en cada una de las categorías, para lo cual se elaboró una propuesta de prueba piloto, la cual ésta tiene como alcance obtener los estimadores estadísticos de cada una de las categorías.

Finalmente se define la ecuación que permite obtener la cantidad de residuos sólidos que se necesita de cada una de las categorías para la caracterización de los residuos sólidos de la ciudad de Barranquilla, en el relleno sanitario Parque Ambiental Los Pocitos.

8 RESULTADOS.

8.1 REVISIÓN DE LA METODOLOGÍA DESARROLLADA POR LA EMPRESA PRESTADORA.

8.1.1 Aspectos del diseño de la metodología de muestreo. La metodología diseñada por la empresa prestadora se basó en el muestreo estratificado con asignación proporcional, mediante el cual se tuvo como objetivo la determinación del tamaño de muestra, de tal manera que su distribución por grupo, definidas por la clase de uso del servicio (véase cuadro 17) fuera proporcional al tamaño de la categoría en la población.

Cuadro 18. .Número de usuarios del servicio de aseo por clase de uso

Clase de uso	Barranquilla
Estrato 1	81.098,00
Estrato 2	55.024,00
Estrato 3	60.489,00
Estrato 4	32.958,00
Estrato 5	13.252,00
Estrato 6	9.168,00
SUBTOTAL RESIDENCIALES	251.989,00
Industrial	413,00
Oficial	527,00
Especial	161,00
Comercial	23.338,00
SUBTOTAL NO RESIDENCIALES	24.439,00
TOTAL	276.428,00

Fuente: Información Suministrada por Triple A S.A. E.S.P. 2014 (datos de octubre del 2013).

Para la metodología de muestreo utilizada, muestreo estratificado con asignación proporcional, se utilizó la siguiente ecuación, la cual se aplica si la población es finita, es decir se conoce el total de los usuarios y el interés es determinar la cantidad de usuarios de cada grupo para conformar una muestra representativa.

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Dónde:

n = Tamaño de la muestra

N = Tamaño de la población, número total de usuarios (293.397)

Z = Valor correspondiente a la distribución de Gauss, en este caso, para una confiabilidad del 95%, $Z_{\alpha} = 1,96$

p = Proporción del estrato analizado en la muestra

q = Se calcula como 1-p (proporción de usuarios que no pertenecen al estrato analizado)

d = Error que se prevé cometer. En este caso será del 5% (0,05 se ingresa en la fórmula)

En el cuadro 18 se presenta los tamaños de muestra para los 10 grupos establecidas en la metodología desarrollada por la empresa prestadora, en términos del número de suscriptores a muestrear. A partir de éstos se calculó la cantidad de residuos a muestrear, considerando la densidad poblacional de los municipios atendidos (véase cuadro 18) y una producción per cápita de $1\text{kg.hab}^{-1}.\text{día}^{-1}$, sobre la cual, es importante mencionar que fue utilizada como valor global para todas las categorías, convirtiendo el número de suscriptores a habitantes, teniendo en cuenta que para cada grupo se tiene un promedio de habitante/ domicilio.

Finalmente, las cantidades obtenidas corresponden a las toneladas tomadas para el cuarteo por categoría, para la conformación de la muestra a la cual se le determinó la composición física.

Cuadro 19. Calculo del tamaño muestral y cantidad de residuos para los cuarteos

Grupos	Usuarios	n (número de suscriptores)	No. Habitantes muestreados	Toneladas tomadas para el cuarteo por grupo
Estrato 1	81098	300	1475	1,47
Estrato 2	55024	227	1117	1,12
Estrato 3	60489	244	1201	1,2
Estrato 4	32958	148	729	0,73
Estrato 5	13252	64	314	0,31
Estrato 6	9168	45	220	0,22
Grandes Productores	24439	113	557	0,56

Fuente: Información Suministrada por Triple A S.A. E.S.P. 2014 (datos de octubre del 2013).

Cuadro 20. Promedio de habitante/domicilio

DENSIDAD POBLACIONAL	
Municipios	Habitante/vivienda
Barranquilla	4,92

Fuente: Información Suministrada por Triple A S.A. E.S.P. 2014 (datos de octubre del 2013).

8.1.2 Muestreo y trabajo en campo realizado. El estudio de caracterización de los residuos sólidos municipales en el área metropolitana de Barranquilla, Galapa, Puerto Colombia y Sabanalarga, se realizó dividiendo a la población en 10 grupos (7 grupos para Barranquilla). A continuación se presentan los resultados por cada una de las categorías. Destacando que la información fue complementada con los barrios predominantes que atendía la ruta, del mismo modo se tomó como relevante, comparada con el número interno del vehículo, dado que el vehículo puede cambiar.

La selección de las rutas se realizó de forma aleatoria, siempre que llevara a cabo la recolección para las categorías que se desean evaluar, por lo cual se definen a continuación algunas zonas (residenciales) con los días de recolección (véase cuadro 20).

La ruta correspondiente que realizaba el carro recolector para el muestreo llegaba al relleno sanitario efectuaba el descargue de los residuos en una zona organizada para hacer el cuarteo y la caracterización, el equipo de trabajo hace el volteo y mezcla para que se rompan las bolsas y el material sea homogenizado, luego se trabaja en un círculo de cuatro metros de diámetro aproximadamente, se divide el espacio en cuatro partes, se escogían dos diagonales, a continuación se repetía el procedimiento hasta obtener una muestra de aproximadamente 50 kg.

Cuadro 21. Días de recolección de zonas residenciales

Zona	Días de recolección	
Sur	Sur 1 (lun- mie-vie)	Sur 2 (mar-jue-sab)
Sur occidente	Sur occidente 1 (lun- mie-vie)	Sur occidente 2 (mar-jue-sab)
CCMP	Toda la semana (día y noche)	
Norte	Norte 1 (lun- mie-vie)	Norte 2 (mar-jue-sab)

8.1.3 Resultados por categoría de la ciudad de Barranquilla. A continuación se describe como se conformaron la muestra para los 7 grupos de la ciudad de Barranquilla:

- **Resultados generales del estrato 1:**

Para este grupo se determinó mediante el análisis estadístico que se debía muestrear un total de 1475 Kg de residuos sólidos. Se tomaron un total de 5 muestras para luego promediar los resultados.

- **Resultados generales del estrato 2:**

Para este grupo se determinó mediante el análisis estadístico que se debía muestrear un total de 1117 Kg de residuos sólidos. Se tomaron un total de 4 muestras para luego promediar los resultados.

- **Resultados generales del estrato 3:**

Para este grupo se determinó mediante el análisis estadístico que se debía muestrear un total de 1201 Kg de residuos sólidos. Se tomaron un total de 4 muestras para luego promediar los resultados.

- **Resultados generales del estrato 4:**

Para este grupo se determinó mediante el análisis estadístico que se debía muestrear un total de 729 Kg de residuos sólidos. Se tomaron un total de 3 muestras para luego promediar los resultados.

- **Resultados generales del estrato 5:**

Para este grupo se determinó mediante el análisis estadístico que se debía muestrear un total de 314 Kg de residuos sólidos. Se tomaron un total de 2 muestras para luego promediar los resultados.

- **Resultados generales del estrato 6:**

Para este grupo se determinó mediante el análisis estadístico que se debía muestrear un total de 220 Kg de residuos sólidos. Se tomaron un total de 2 muestras para luego promediar los resultados.

- **Resultados generales de grandes productores:**

Para este grupo se determinó mediante el análisis estadístico que se debía muestrear un total de 557, Kg de residuos sólidos. Se tomaron un total de 3 muestras para luego promediar los resultados.

8.1.4 Determinación de la composición física. Una vez obtenida la muestra se hace la selección del material, se inicia con la selección y separación en las siguientes clasificaciones:

- Materia orgánica (degradable velozmente y degradable lentamente).
- Papel.
- Cartón.
- Vidrios (transparentes, oscuros, verdes, otros).
- Metales
- Madera
- Textiles.
- Residuos Peligrosos (Mantenimiento automotriz, mantenimiento locativo, biosidas, (plaguicidas y artículos para jardín), medicinas y fármacos, biosanitarios, lámparas, bacterias, eléctricos y electrónicos, otros productos peligrosos).

- Plástico (Polietileno Alta Densidad (PEAD), Polietileno de Baja Densidad (PEABD), Polietileno Tereftalato (PET), Cloruro de Polivinilo (PVC), Polipropileno (PP), pasta y otros).
- Porcentaje de humedad.

8.2 EVALUACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA PRESTADORA.

8.2.1 Identificación de las variables y requerimientos utilizadas para la construcción del marco muestral. De acuerdo con la revisión realizada a la metodología implementada por la empresa prestadora del servicio, a continuación se presentan los criterios técnicos utilizados para la construcción del marco muestral, con el fin de identificar las opciones de mejoramiento de la metodología.

- **Número de usuarios por estrato socioeconómico:**

Clasificación o estratificación socioeconómica de la población, de acuerdo con la composición de estratos de los sectores del sistema de aseo. Se identificaron la cantidad de suscriptores que pertenecen a cada una de las categorías establecida e igualmente se deben de ubicar espacialmente donde se encuentra situado en la ciudad.

- **Zonificación del sistema de aseo de la ciudad de Barranquilla:**

En este se identifican 4 zonas que son Sur, Sur Occidente, Norte y Centro Comercial y Mercado Público (CCMP), esta última incluye a los grandes productores. Por medio de la zonificación del sistema de aseo se identificó que en las tres primeras zonas predomina el sector residencial.

- **Sistema de recolección y transporte de la ciudad:**

Ruteo del servicio de recolección y transporte de los residuos sólidos, con el cual identifican la frecuencia y barrios predominantes que cubre la ruta, la capacidad de la flota vehicular, así mismo establecen las cajas estacionarias que sirven de almacenamiento temporal de los residuos en puntos estratégicos de la ciudad.

- **Operación del relleno sanitario Parque Ambiental Los Pocitos:**

Selección del sitio para la realización del muestreo en el relleno sanitario, en donde descargan los vehículos recolectores que realizaron la ruta

seleccionada, lo cual se obtuvo mediante el análisis de la logística de operación del sitio.

- **Método de caracterización de los residuos sólidos:**

La obtención de la muestra para análisis de la composición física se realizó a partir de la aplicación del método de cuarteo (muestra analizada de aproximadamente 50 kg)

Definido el marco muestral se establece el tipo o clase de muestreo que se quiere implementar para el diseño de la metodología, empleando para este caso es el método de muestreo estratificado con asignación proporcional, tal como se describió en el ítem 8.1.

8.2.2 Evaluación de la metodología existente para caracterizar los residuos sólidos de la empresa prestadora. Se llevó a cabo la evaluación de la metodología existente, la cual se identificó la necesidad de opciones de mejoramiento, evaluando la consideración de aspectos importantes y propios de la población, de tal manera que permita tener una representatividad de los residuos sólidos en cada uno de los municipios, desde el punto de vista técnico y estadístico, siendo esto:

- La validez de una metodología de caracterización se fundamenta en presentar datos propios y verídicos de la población de estudio, porque el análisis de los RSM es muy complejo, debido a su composición, distribución entre las fuentes generadoras (industria, comercio, residencial, etc.) y vínculo con los patrones de consumo de la población⁷². En el caso de esta metodología presentaron un supuesto, generalizando el valor de la p.p.c. sin ningún soporte o método de obtención de esta variable, resaltando que fue aplicada para todos los municipios que integraba la investigación. Por lo cual la metodología requiere del cálculo u obtención de esta variable, mediante mediciones en campo o por ecuaciones estadísticas que permitan determinar su valor.
- La obtención para determinar el número de suscriptores para la conformación de la muestra se diseñó con soporte estadístico, sin embargo para determinar la cantidad de residuos para caracterizar en el sitio de disposición final no tuvo una validez estadística, considerándose que está debió involucrar estimadores como la media y la varianza para la

72

generación de los residuos sólidos de la población e incluso por categoría, obteniendo una mayor exactitud y representatividad en los resultados.

- La recolección de los residuos sólidos por lo carros recolectores se estima que se realizó a los usuarios que pertenecen al estrato correspondiente en la conformación de la muestra, ya que cada zona tiene una dinámica diferente de consumo y generación de residuos, donde el número de suscriptores por categoría varía, las actividades de cada zona no son iguales, siendo el caso de la CCMP comparada con las otras tres zonas que predomina el sector residencial.

Sin embargo esta metodología se puede desarrollar en campo, pero es necesario aclarar que los resultados a obtener no tendrán una representatividad de los resultados en los residuos generados por cada grupo establecido, dado que no cuenta principalmente con datos propios de la población e igualmente su diseño estadístico se describe sin definir estimadores que me permitan llegar con validez a la obtención de mi unidad objeto de estudio (Cantidad de residuos sólidos que se necesitan para la caracterización).

Por lo cual se realizará una propuesta metodológica que involucre estas necesidades de mejoramiento, de modo que permita con mayor exactitud caracterizar los residuos sólidos procedentes de la ciudad de Barranquilla, dispuestos en el relleno sanitario Parque Ambiental Los Pocitos, permitiendo tener una validez y representatividad de los resultados con un soporte estadístico.

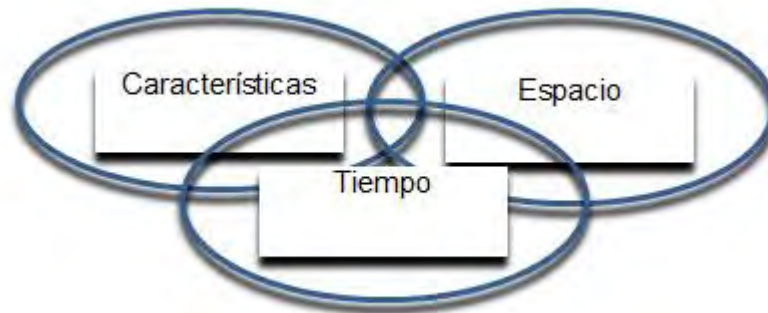
8.3 CONSTRUCCIÓN DE UNA PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN.

De acuerdo con la evaluación realizada se plantea el diseño de una propuesta metodológica, que incorpora las opciones de mejoramiento que se establecen en el ítem anterior.

Por lo cual la siguiente propuesta tiene como unidad objeto de estudio determinar la cantidad de residuos sólidos que se requiere de las categorías establecidas (C_h) para la caracterización, lo cual se detalla más adelante.

La presente propuesta se fundamenta en el mismo marco muestral de la metodología evaluada, sin embargo es importante mencionar que su planteamiento se realizó mediante tres aspectos fundamentales, que se consideran importantes para la unidad objeto de estudio.

Figura 5. Aspectos fundamentales en la construcción del marco muestral



Para los aspectos fundamentales mostrados en la imagen No 5, se establece lo siguiente:

- **Espacio:** Relleno sanitario, haciendo referencia a los residuos sólidos generados en la ciudad de Barranquilla que son dispuestos en el relleno sanitario Parque Ambiental Los Pocitos.
- **Tiempo:** Una semana completa, periodo en el cual se han recogido el total de los residuos sólidos que son entregados al servicio de la ciudad.
- **Característica:** Cantidad de suscriptores de la ciudad por sector (residencial y no residencial), en función de las categorías analizadas.

Una vez definido los aspectos fundamentales para la conformación del marco muestral, la metodología propuesta debe permitir, obtener la unidad objeto de estudio, a partir de la característica definida, que es la cantidad de suscriptores de cada categoría que conformaran la muestra. No obstante lo anterior, para determinar esta cantidad de suscriptores por categoría, con validez y soporte estadístico, se hace necesario contar con estimadores tales como la media y la varianza de la producción de residuos por suscriptor de cada categoría (p.p.s.h), la obtención de los estimadores se realiza mediante una prueba piloto.

Finalmente, la cantidad de residuos sólidos a muestrear de cada categoría, se obtiene estableciendo una relación entre la muestra conformada por la cantidad de suscriptores por categoría con su respectiva p.p.s.h, mediante la siguiente ecuación:

$$c_h = n_h * p.p.s.h \text{ (Ecuación 1)}$$

Dónde:

C_h: Cantidad residuos sólidos que se requieren de la categoría h para la caracterización fisicoquímica.

n_h: Cantidad de suscriptores que componen la muestra de la categoría h.

p.p.s.h Producción de residuos sólidos por suscriptor de la categoría h.

8.3.1 Definición del marco muestral. Se adopta el marco muestral de la metodología desarrollada por la empresa prestadora debido a que es consistente con los aspectos fundamentales analizados, la cual fue revisada en el ítem 8.2 y se relaciona en el cuadro 21.

Cuadro 22. Marco muestral de la metodología a diseñar

Número de suscriptores por estrato socioeconómico
Zonificación del sistema de Aseo de la ciudad de Barranquilla
Propuesta de diseño de la prueba piloto
Sistema de recolección y transporte de los residuos sólidos de la ciudad
Método de cuarteo (método de caracterización física de los residuos sólidos)

Para el desarrollo de la metodología es importante definir el número de suscriptores de la ciudad de Barranquilla que abarca cada una de las categorías que se han establecido lo cual se reportan en el cuadro 22.

Cuadro 23. Número de suscriptores por categoría establecida en la metodología

Clase de uso	
Sector residencial (estrato socioeconómicos)	
Suscriptores (N _h)	
Estrato 1 (categoría 1)	81.098,00
Estrato 2 (categoría 2)	55.024,00
Estrato 3 (categoría 3)	60.489,00
Estrato 4 (categoría 4)	32.958,00
Estrato 5 (categoría 5)	13.252,00
Estrato 6 (categoría 6)	9.168,00
Sector no residencial	
Suscriptores	
Industrial	413,00
Oficial	527,00
Especial	161,00
Comercial	23.338,00
Total grandes productores (categoría 7)	24.439,00
TOTAL SUSCRIPTORES DEL SISTEMA DE ASEO DE BARRANQUILLA (N)	276.428,00

Fuente: Información Suministrada por Triple A S.A. E.S.P. 2014 (datos de octubre del 2013).

8.3.2 Determinación del tamaño de muestra

- **Selección del método de muestreo:**

Es preciso seleccionar un método de muestreo para la determinación de la cantidad de residuos sólidos de cada categoría (Ch) con las cuales se conformará la muestra, para lo cual se debe considerar el tamaño de la muestra de la población por categoría (número de suscriptores Nh), varianza ($\hat{S}h^2$) y la media ($\hat{\bar{X}}h$) de la producción por suscriptor de cada categoría (p.p.s.h).

Considerando la situación particular de los requerimientos de la caracterización de los residuos sólidos de la ciudad de Barranquilla, en cuanto a que los hábitos de consumo, ingresos económicos en cada una de las categorías es diferente e igualmente la dinámica de la población flotante en la ciudad, se ha optado para la propuesta metodológica por el muestreo estratificado con asignación de Neyman, porque se considera que existe una variabilidad de los residuos generados dentro de las categorías, este método además de tener en cuenta el tamaño de los estratos, también involucra la dispersión de los datos dentro de cada estrato.

Esta asignación permite obtener la mínima varianza del estimador global (cantidad de residuos sólidos generados en el suscriptor). El método se describe con las siguientes ecuaciones:

$$n_h = n \left(\frac{W_h * S_h}{\sum_{h=1}^7 W_h * S_h} \right) \text{ (Ecuación 2)}$$

$$\left(\frac{n_h}{n} \right) = \left(\frac{W_h * S_h}{\sum_{h=1}^7 W_h * S_h} \right) \text{ (Ecuación 3)}$$

$$(wh) = \left(\frac{W_h * S_h}{\sum_{h=1}^7 W_h * S_h} \right) \text{ (Ecuación 4)}$$

$$n = \frac{\sum_{h=1}^7 \frac{W_h^2 * S_h^2}{(w_h)}}{V(\hat{\bar{X}}) + \frac{1}{N} \sum_{h=1}^7 W_h * S_h^2} \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$n_h = n * (w_h) \quad (\text{Ecuación 6})$$

Dónde:

h: Número de Categoría de 1 hasta 7.

N: Total de suscriptores del sistema de aseo de la ciudad de Barranquilla

W_h: Peso del estrato (importancia en tamaño)

V($\hat{\bar{X}}$): Estimación de la media de residuos sólidos de cualquier suscriptor

(w_h): Forma de repartir la muestra en el estrato h.

n: Cantidad de suscriptores que componen la muestra de la población

n_h: Cantidad de suscriptores que componen la muestra de la categoría h.

S_h²: Varianza de los residuos sólidos que se producen en el estrato h.

S_h: Desviación estándar de los residuos sólidos que se producen en el estrato h.

A continuación se comienza a mencionar cada una de las variables que se encuentra como incógnitas en la obtención de la población a muestrear.

Con la ecuación 7 y 8, se calcula la población total de Barranquilla y el peso de la categoría en la muestra final de la población.

$$N = \sum_{h=1}^6 N_h \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$W_h = \frac{N_h}{N} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Dónde:

N: Total de suscriptores del sistema de aseo de la ciudad de Barranquilla.

N_h: Total de suscriptores en el estrato h.

W_h: Peso del estrato (importancia en tamaño)

Con base en el cuadro 23 y la ecuación 8, se obtiene el peso del estrato en la muestra, donde se evidencia que la categoría 1 posee el mayor número de suscriptores e igualmente ocurre con la categoría 7 (véase cuadro 24) evidenciando que el mayor número suscriptores está en el sector comercial.

Cuadro 24. Peso de las categorías en la conformación de la muestra de la población

Categoría	Suscriptores (Nh)	Peso de la categoría (Wh)	Wh (%)
Categoría 1	81.098,00	0,2934	29
Categoría 2	55.024,00	0,1991	20
Categoría 3	60.489,00	0,2188	22
Categoría 4	32.958,00	0,1192	12
Categoría 5	13.252,00	0,0479	5
Categoría 6	9.168,00	0,0332	3
Categoría 7	24.439,00	0,0884	9
Total (Nh)	276.428,00		100,000

Cuadro 25. Peso de los componentes en la conformación de la categoría 7

Categoría 7		Peso de componentes en la categoría 7 (%)
Industrial	413	1,690
Oficial	527	2,156
Especial	161	0,659
Comercial	23.338	95,495
Total categoría 7	24.439,00	100,000

Para estimar la media muestral de la generación de residuos sólidos de cualquier suscriptor (véase ecuación 9), se desarrolla a partir de los siguientes valores típicos que se asumen en estudio de caracterización, siendo estos:

- Un error absoluto correspondiente al 5% de la cantidad de residuos generados por suscriptor.
- Un nivel de confianza del 95%.

$$v(\hat{\bar{X}}) = \left(\frac{\mathcal{S}}{Z} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$\mathcal{S} = r * \hat{\bar{X}}_{\text{histórico}} \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$0 \leq r \leq 0.10 \rightarrow r = 0.05$$

Dónde:

$\hat{\bar{X}}_{\text{histórico}}$: Media de residuos sólidos generados en la ciudad de Barranquilla (reportado, medido, etc.)

\mathcal{S} : Error permisible

Z : Nivel del confianza= 95% (tabla de la distribución normal) =1.96

Por último se definen las ecuaciones 11 y 12, para dar cumplimiento a las variables que conforman la ecuación para la obtención de la muestra de suscriptores por categoría.

$$S_h^2 = \sum_{h=1}^{N_h} \frac{(X_{hi} * \bar{X}_h)^2}{N_h - 1} \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$S_h = \sqrt{S_h^2} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Dónde:

S_h^2 : Varianza de los residuos sólidos que se producen en el estrato h.

S_h : Desviación estándar de los residuos sólidos que se producen en el estrato h.

X_{hi} : Cantidad de residuos sólidos generado en un suscriptor del estrato h.

\bar{X}_h : Media de residuos sólidos producidos por usuarios en el estrato h.

- **Determinación de la producción por suscriptor (p.p.s.h) para cada categoría:**

Como se mencionó anteriormente, para la implementación del método de muestreo propuesto para la obtención del número de suscriptores por categoría, es necesario contar con la p.p.s.h, (véase ecuación 1). En tanto que en la metodología revisada y en la información recopilada no se reporta valores de esta variable, que sean representativos de cada categoría, se considera importante la realización de un prueba piloto, cuyos resultados permitan determinar los estimadores de la varianza (S_h^2) y la media (\bar{X}_h) de la producción por suscriptor en la categoría h, (p.p.s.h), parámetro importante en la unidad objeto de estudio.

La prueba piloto se diseña para una semana, permitiendo en este periodo obtener los datos de cada estimador del indicador que se requiere (p.p.s.h). Las fases que integran esta prueba se explica a continuación:

- **Descripción General:**

La prueba piloto que se plantea consiste en que una vez seleccionados los suscriptores que serán muestreados de cada categoría y posterior a la socialización de los objetivos de la prueba a estos suscriptores, se realiza lo siguiente:

Para el caso de los suscriptores de las categorías 1 a 6, se les entregara bolsas de diferentes colores con una marca que permita su identificación (número de suscriptores), donde cada color de la bolsa representa a la categoría de donde provienen los residuos (véase cuadro 25). Los residuos deben ser pesados durante la recolección por el servicio de aseo, el color de la bolsa debe permitir su distinción por parte de los operadores de la recolección, quienes tendrán que registrar el peso de la bolsa asociándolo a cada suscriptor, en un formato previamente diseñado. En el caso de la categoría 7 los residuos son pesados en la fuente de generación del suscriptor que se ha seleccionado para pertenecer al piloto, el procedimiento de recopilación de los datos se realiza de la misma forma que los estrato socioeconómicos.

Para llevar a cabo lo anterior, aunque la recolección de las bolsas puede realizarse durante la recolección en las rutas normales del servicio, se recomienda evaluar con prioridad la posibilidad de programar rutas exclusivas para la recolección de la muestra de cada categoría, en cualquiera de los casos, el vehículo recolector deberá estar provisto de un sistema para el pesaje de los residuos.

En el caso que lo anterior no sea posible, otra opción puede ser que una vez transportadas al relleno sanitario, se realice la recuperación de estas bolsas del total de los residuos durante la operación de descargue, previo a la compactación de los residuos en la celda de operación, sin embargo, debido al riesgo de rotura de las bolsas durante la recolección y compactación en los vehículos, se prioriza la primera opción.

Cuadro 26. Relación categoría y color de bolsa de cada una

Categoría	Color de bolsa
Categoría 1	Blanco
Categoría 2	Rojo
Categoría 3	Azul
Categoría 4	Verde
Categoría 5	Amarillo
Categoría 6	Gris

A continuación se describen algunos aspectos importantes:

- **Selección de los suscriptores a muestrear de cada categoría**

La selección de los suscriptores de cada categoría se realiza de manera aleatoria, de modo que todos tienen la misma probabilidad de pertenecer a la muestra de la prueba piloto. El número de suscriptores o viviendas para conformar la muestra, debe ser definido por el grupo que desarrolla el estudio. Para cada categoría la representatividad está dado con base en el peso de la muestra, es decir que tendrá una mayor representatividad la categoría de mayor porcentaje de acuerdo con los consignado en el Cuadro 22, presentando el siguiente orden: la categoría 1(29%), categoría 3(22%), categoría 2(20%), categoría 4(12%), 7(9%), categoría 5(5%) y categoría 6(3%). Destacando que las categorías que comprenden los estratos socioeconómicos se creará una encuesta, la cual ésta se realiza con el fin de conocer la clase de productos que normalmente consumen y compran en la semana e igualmente permite saber la cantidad de habitantes que integran cada uno de los suscriptores seleccionados para pertenecer al piloto.

Es importante mencionar que para las pruebas piloto no se tiene establecida una ecuación que determine el número de integrantes de la unidad objeto de estudio, esta selección se realiza de manera interna en el equipo que desarrolla la investigación, considerando para ello la capacidad operativa y técnica para su realización.

- **Recolección de las bolsas de residuos sólidos de los suscriptores seleccionados**

La recolección de los residuos sólidos se programa para una semana, iniciando desde el día lunes, resaltando que el primer día no se tiene en cuenta (como dato de generación), ya que los suscriptores creen que por cantidad de residuos generados, así mismo es la tarifa de cobro, por lo tanto no se disponen la misma cantidad en las bolsas entregadas, esto ha ocurrido en otros estudios. Sin embargo los residuos serán pesados y recolectados por el carro recolector, volqueta o camión que se ha asignado para la recolección.

- **Coordinación institucional**

La prueba piloto involucra la participación de distintos grupos, entre los que se encuentran entidades gubernamentales, industrias, instituciones, comunidad, así como el equipo de trabajo que coordinará y desarrollará el estudio.

- **Ubicación de las categorías**

Para el desarrollo de esta prueba se debe identificar los sitios donde se encuentra situadas las categorías definidas en la metodología, ya sea por barrios, comunas, etc., para lo cual puede ser importante la participación del Departamento de Planeación Municipal (DPM) y la empresa prestadora del servicio de aseo.

- **Diseño de la campaña de comunicación y sensibilización:**

En esta etapa se socializara el objetivo del proyecto a la comunidad, es decir suscriptores que fueron seleccionados para participar en la prueba piloto.

- **Determinación de la producción por suscriptor (p.p.s.h) y producción per cápita (p.p.c.h) por categoría:**

El pesaje de los residuos sólidos de los suscriptores se transcriben al final del día en una hoja excel, en el cual especifique cada categoría con el respectivo valor de la muestra de las viviendas que han sido seleccionada, permitiendo llevar un control en la recolección de datos para la semana completa. Con los datos reportados del peso de los residuos generados en los suscriptores seleccionados, se obtendrá la estimación de la media (ecuación 13), varianza (ecuación 14) y el indicador de la p.p.s.h. (ecuación 13) de cada categoría.

$$p.p.s.h = \hat{X}_{gh} = \frac{\left(\frac{X_{psh}}{8}\right)}{nsh} \text{ (Ecuación 13)}$$

Dónde:

p.p.s.h: Producción de residuos sólidos por suscriptor de la categoría h.

\hat{X}_{gh} : Media de residuos sólidos generados en la categoría h.

X_{psh} : Media total de residuos sólidos producidos de la semana en la categoría h.

nsh : Cantidad de suscriptores seleccionados de la categoría h para componer la muestra.

$$S_h^2 = \frac{(X_{hi} - \hat{X}_{gh})}{nsh - 1} \text{ (Ecuación 14)}$$

Dónde:

S_h²: Varianza de los residuos sólidos generados de la categoría h.

X_{hi}: Peso de residuos producidos de un suscriptor i de la categoría h.

\hat{X}_{gh} : Media de residuos sólidos generados en la categoría h.

nsh: Cantidad de suscriptores seleccionados de la categoría h para componer la muestra.

Con los datos recopilados de la encuesta se podrá calcular la densidad habitacional en cada categoría (ecuación 15) y respectivamente con esta se puede obtener su producción per cápita (p.p.c.) (ecuación 16), posteriormente para los residenciales (ecuación 17).

$$Dhh = \frac{\text{número total de habitantes de las viviendas}}{\text{número de viviendas}} \text{ (Ecuación 15)}$$

Dónde:

Dhh: Densidad habitacional en la categoría h.

$$p.p.c._h = \frac{\hat{X}_{gh}}{Dhh} \text{ (Ecuación 16)}$$

Dónde:

p. p. c._h: Producción per cápita de la categoría h (kg/habitante* día)

\hat{X}_{gh} : Media de residuos sólidos generados en la categoría h.

Dhh: Densidad habitacional en la categoría h.

$$p.p.c._{p.r} = \frac{\sum_{I=1}^6 p.p.c._h}{6} \text{ (Ecuación 17)}$$

Dónde:

p. p. c._{p.r.}: Producción per cápita de la población del sector residencial de la ciudad de Barranquilla.

p. p. c._h: Producción per cápita de la categoría h (kg/habitante* día).

- **Determinación de los estimadores de la media y varianza poblacional:**

Mediante el diseño de la prueba piloto y el método de la población a mostrar, se define la ecuación para determinar la estimación de la media (véase

ecuación 18) y varianza (véase ecuación 19) de la generación de los residuos sólidos de la ciudad de Barranquilla, respaldado con un soporte estadístico.

$$\hat{\bar{X}} = \sum_{h=1}^7 W_h * \hat{X}_{gh} \quad (Ecuación 18).$$

$$\hat{V}(\hat{\bar{X}}) = \sum_{h=1}^7 W_h^2 * (1 - f_h) * \frac{\hat{S}_h^2}{n_h} \quad (Ecuación 19).$$

$$f_h = \frac{n_h}{N_h} \quad (Ecuación 20)$$

Dónde:

$\hat{\bar{X}}$ = Media de los residuos sólidos generados en Barranquilla.

$\hat{V}(\hat{\bar{X}})$ = Varianza de los residuos sólidos generados en Barranquilla.

f_h =Peso de la población muestreada en los estimadores totales

Permitiendo definir la ecuación 21 que determina el intervalo de confianza para la media de la generación de residuos sólidos de la ciudad de Barranquilla, para un nivel de confianza del 95%.

$$\bar{X}_0 < \bar{X} > \bar{X}_1 = \hat{\bar{X}} \pm Z^{\alpha/2} \sqrt{\hat{V}(\hat{\bar{X}})} \quad (Ecuación 21).$$

8.3.3 Determinación de la cantidad de residuos sólidos que se requiere muestrear por categoría (Ch). Con la obtención del número de suscriptores a muestrear y por categoría mediante el método de muestreo diseñado y con la prueba piloto que permite obtener la p.p.s.h, se puede calcular la cantidad de residuos sólidos (Ch) que se requiere para caracterizar los residuos sólidos en el relleno sanitario Parque Ambiental Los Pocitos, mediante la ecuación 1.

8.3.4 Aspectos logísticos de la aplicación de la metodología propuesta de la investigación. La implementación de la metodología comienza con la recopilación de la información necesaria y de operación del relleno, posteriormente es necesario ubicar un espacio en el relleno para la disposición de los residuos sólidos que provienen de cada una de las categorías definidas, dando prioridad en que las rutas seleccionadas para la muestra solamente realicen la recolección de los residuos sólidos de cada categoría, si no es el caso se podría dar una bolsa de residuos a cada suscriptor seleccionado a pertenecer a la muestra, de modo que se distinga estos de los demás.

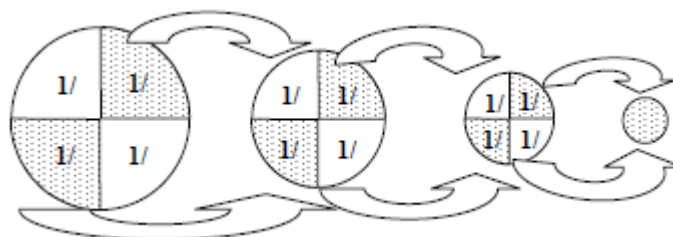
En la definición de la logística de la recolección debe tenerse en cuenta que por la compactación del carro recolector es posible que no se diferencie o ésta haya sido destruida totalmente.

Una vez definido el peso de los residuos por categorías (C_h), se seleccionarán las rutas que integran la muestras, aclarando que se tendrá como valor de referencia aproximadamente el peso de residuos descargado de los carros recolectores que compusieron la muestra para efectos prácticos, es decir $300 \leq X \leq 340$ kilogramos, aunque si la muestra es mayor se aumentará el número de rutas que se debe muestrear para cumplir con el peso de la categoría que mayor peso tenga (W_h), la cual, de acuerdo con los datos procesados es la categoría 1.

Efectuado el descargue de los residuos en el área determinada, la caracterización de los residuos sólidos, se desarrolla por el método de cuarteo, explicándose a continuación:

- Los residuos se descargan en una zona pavimentada o sobre un plástico grande a fin de no agregar tierra a los residuos.
- Se rompen las bolas y se vierten los residuos formando una montaña de estos, con la finalidad de homogeneizar la muestra (mano de obra manual o maquinaria según la cantidad), en el cual los residuos más voluminosos son triturados hasta conseguir un tamaño que sea manipulable ($\leq 15\text{ cm}$).
- La montaña de residuos se dividen en cuatro partes (método de cuarteo) y se escogen las dos partes opuestas (véase imagen 6), para formar una nueva montaña más pequeña, esta operación se repite hasta obtener una muestra aproximadamente de 50 kg de residuos.

Figura 6. Método de cuarteo



La muestra o peso final que se obtiene del cuarteo es utilizado para realizar la caracterización física de los residuos sólidos de la ciudad de Barranquilla, cuya clasificación de las fracciones se efectuará de la misma manera que se establece en la metodología evaluada, exceptuando la fracción de materia orgánica (biorresiduos), para la cual, más adelante se define una caracterización fisicoquímica más detallada que la realizada con la metodología actualmente implementada, tal como se describe en el ítem 8.4.

8.4 PROPUESTA PARA LA CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LA FRACCIÓN DE BIORRESIDUOS.

Considerando el desarrollo de la metodología en campo, se podrá obtener que los resultados pertinentes del porcentaje de las fracciones establecidas de los residuos sólidos sean representativos de la población en general, dado que la metodología se diseñó con soporte estadístico. A continuación se definen los lineamientos para realizar la caracterización fisicoquímica de los biorresiduos (materia orgánica de fácil biodegradación), una vez obtenida su fracción.

8.4.1 Fracciones establecidas para la caracterización física de los biorresiduos. La caracterización física de la fracción de biorresiduos se establece con base en la naturaleza se pueden clasificar de la siguiente manera⁷³:

- Residuos orgánicos de origen alimentario y de cocina (incluye los de transformación de alimentos).
- Residuos vegetales (Procedentes de las zonas verdes y vegetación privada y pública).
- Residuos de papel
- Residuos procedentes de Excrementos de Animales Domésticos (EAD) sin lechos y arenas absorbentes (LAA).

⁷³ Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. Gobierno de España. Gestión de biorresiduos de competencia municipal: Guía para la implementación de la recogida separada y tratamiento de la fracción orgánica. 2013. p 24.

La caracterización de los biorresiduos se define en el presente estudio teniendo en cuenta gran parte del total de los residuos sólidos que integran los biorresiduos, mostrándose a continuación:

- **Residuos de alimentos y restos de la preparación de la comida (cocinados o crudos)⁷⁴.**

Esta clasificación comprende los siguientes residuos sólidos:

- Residuos de fruta y verdura
- Huesos y restos de carne
- Espinas y restos de pescado o mariscos
- Cascara de huevos y frutos
- Residuos de comida y comida en mal estado
- Residuos de pan, de harina
- Residuos de posos de café y restos de infusiones.

- **Residuos de Papel⁷⁵:**

Esta clasificación comprende los siguientes residuos sólidos:

- Residuos de papel de cocina sucio
- Residuos de servilletas de papel sucio
- Residuos de pañuelos de papel

- **Residuos vegetales de pequeñas dimensiones⁷⁶.**

Esta clasificación comprende los siguientes residuos sólidos:

- Residuos de Poda (jardinería y poda de mayor tamaño).
- Residuos de ramos marchitos, flores y hojas secas.
- Residuos de césped, pequeñas ramas de poda y hojarasca.

Es importante mencionar que en el proceso de compostaje ciertos residuos procedentes de la madera son incluidos dentro de los biorresiduos como

⁷⁴ Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. Gobierno de España. Gestión de biorresiduos de competencia municipal: Guía para la implementación de la recogida separada y tratamiento de la fracción orgánica. 2013. p 59.

⁷⁵ Ibíd, p. 59.

⁷⁶ Ibíd, p. 59.

tapono de corcho, residuos de aserrín, residuos de astilla y virutas de madera⁷⁷.

Las propiedades físicas que se consideran para evaluar la toma de decisiones en las opciones de alternativas tecnológicas en la gestión de los biorresiduos son⁷⁸:

- Peso específico
- Humedad
- Tamaño de partículas
- Distribución del tamaño de partículas

8.4.2 Elementos establecidos para la caracterización química de los biorresiduos. La caracterización química de la fracción de biorresiduos se establece con base en las recomendaciones del RAS 2000 en su título F y la norma técnica chilena sobre compostaje, priorizando con esto obtener las características comunes (véase cuadro 26), el análisis químico elemental (véase cuadro 27) y los metales pesados que se deben tener presente (véase cuadro 28), dado que posteriormente estos limitan las opciones tecnológicas para su aprovechamiento.

Cuadro 27. Características de las fracciones de biorresiduos.

Parámetro	Fracción de Biorresiduos				Total de Biorresiduos
	Residuos de alimentos	Residuos vegetales de pequeñas dimensiones	Residuos de Papel	Residuos procedentes de EAD sin LAA.	
MS (%MS)					
MOS (%MOS)					
MOS biol					
C biogénico					

MS: materia seca

MOS: Materia orgánica seca

MOS biol: Materia orgánica seca degradable biológicamente

C biogénico: Carbono biogénico.

Fuente: DEN BOER et al. Planificación y optimización de la gestión de residuos [en línea]: Manual para la predicción de los residuos municipales y la valoración de la sostenibilidad de los sistemas de gestión. Darmstadt: Universidad Técnica de Darmstadt, 2005. [Consultado 25 de Abril de 2014].

⁷⁷ Ibíd, p. 60.

⁷⁸ Gestión Integral de residuos sólidos. Ed. McGraw-Hill. Bogotá. Colombia. 1994, p. 82.

Disponible en Internet: http://www.iwar.tu-darmstadt.de/lca-iwm/lca_iwm/project_results/results/index.en.jsp

Cuadro 28. Análisis químico elemental de la fracción de biorresiduos.

Elemento	Fracción de Biorresiduos				Total de Biorresiduos
	Residuos de alimentos	Residuos vegetales de pequeñas dimensiones	Residuos de Papel	Residuos procedentes de EAD sin LAA.	
Carbono (C)					
Hidrogeno (H)					
Oxigeno (O)					
Fósforo (P)					
Nitrógeno (N)					
pH					
C/N					
Azufre (S)					
Cenizas					

Fuente: Ministerio de Desarrollo Económico (MDE). Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS, 2000). Título F “Sistema de Aseo Urbano”. p 18.

Cuadro 29. Metales pesados a evaluar de la fracción de biorresiduos.

Metales pesados	Fracción de Biorresiduos				Total de Biorresiduos
	Residuos de alimentos	Residuos vegetales de pequeñas dimensiones	Residuos de papel	Residuos procedentes de EAD sin LAA.	
Arsénico (As)					
Cadmio (Cd)					
Cromo (Cr)					
Cobre (Cu)					
Mercurio (Hg)					
Níquel (Ni)					
Molibdeno (Mo)					
Selenio (Se)					
Plomo (Pb)					
Zinc (Zn)					

Fuente: Norma técnica Chilena NCh 2880.c2003. Compost- clasificación y requisitos. [Consultado 25 de Abril de 2014]. Disponible en Internet: <http://www.ingeachile.cl/descargas/normativa/agricola/NCH2880.pdf>.

9 CONCLUSIONES

A partir de la revisión bibliográfica y la construcción del marco de referencia de metodologías y métodos que se han implementado para la caracterización de los residuos sólidos municipales, es importante destacar que en la actualidad no existe ninguna metodología, método o norma establecida que se pueda ejecutar en las diferentes regiones del mundo, ya que los hábitos de consumo, la economía y cultura de los países son versátiles. Del mismo modo es difícil comparar los estudios de caracterización de residuos sólidos utilizando diferentes metodologías para el desarrollo de éstos en poblaciones distintas, dado que existe una divergencia en sus propiedades y composición.

En la revisión y evaluación de la metodología del relleno sanitario Parque Ambiental Los Pocitos, se obtuvo que su diseño se realizó para la obtención de la muestra, garantizando la representatividad de los suscriptores en los grupos al momento de conformarla, sin embargo la suposición de un valor global para la p.p.c. aplicado sin distinción para todas las categorías, afecta la validez estadística del ejercicio realizado en tanto que con dicha función no se considera la variación en los patrones de generación de residuos que se pueda presentar en las diferentes categorías.

La variabilidad en los patrones de consumo que puede presentarse al interior de cada categoría, en razón de la validez estadística, la metodología a emplear debe considerar la media y varianza de la generación de los residuos sólidos en la población de cada categoría. En el caso particular de la ciudad de Barranquilla, es necesario considerar su situación especial, como ciudad turística, bajo la cual puede presentar un comportamiento variable de la generación de residuos sólidos, debido a la población flotante.

La consideración de la variabilidad de la p.p.s._h en la población total objeto de estudio, tanto entre las diferentes categorías como al interior de estas, se realizó mediante una propuesta metodológica basada en un método de muestreo estratificado con asignación de Neyman, el cual permite conformar una muestra considerando el peso de cada estrato en la muestra total e igualmente permite obtener la mínima varianza del estimador global.

Para considerar las condiciones particulares de la generación de los residuos sólidos de la ciudad de Barranquilla se hace necesaria la ejecución de una prueba piloto con el fin de encontrar los valores para los estimadores tales como la media y varianza de la generación de residuos sólidos en cada una de las categorías establecidas. Estos datos se requieren para la obtención del número de suscriptores por categoría para conformar la muestra y finalmente para determinar la cantidad de residuos sólidos de cada categoría.

Finalmente la propuesta de caracterización fisicoquímica de la fracción de biorresiduos se plantea con el propósito de buscar opciones de aprovechamiento y tratamiento de éstos, mejorando también la operación del relleno sanitario con respeto a la generación de gases y lixiviados que son producidos en el proceso de descomposición de los biorresiduos.

10 RECOMENDACIONES

Con base en la revisión bibliográfica de caracterización de los residuos sólidos en el país, se observa que son pocos los estudios reportados y que algunos de ellos están desactualizados, de modo que se recomienda a las entidades responsables del servicio de aseo en los municipios, evaluar las caracterizaciones realizadas desde un enfoque de su validez estadística, el año realizado y alcance técnico de los resultados, con el fin de que los resultados de estos estudios se conviertan en un verdadero apoyo a los procesos de gestión de los residuos. Adicionalmente, es importante que estas empresas tengan en cuenta lo recomendado del RAS 2000, en el Título F, en cuanto a la realización de caracterizaciones por lo menos una vez cada dos años.

Es importante crear guía técnicas a nivel nacional de aspectos metodológicos para la caracterización de los residuos sólidos en los diferentes municipios del país, para asegurar con esto un mejor soporte estadístico, permitiendo tener una validez y representatividad de los resultados.

Se recomienda a la empresa prestadora del servicio de aseo de la ciudad de Barranquilla que evalúe la posibilidad de implementar la propuesta metodológica, con el fin de obtener datos representativos, incluyendo la prueba piloto. De modo que con la implementación de ésta, obtengan datos representativos de la generación de los residuos, apoyando procesos en la gestión de éstos en los municipios que presta el servicio.

También se recomienda que las rutas seleccionadas para la obtención de la muestra, realicen la recolección únicamente a suscriptores de la categoría que le ha sido asignada, de modo que garantice la representatividad de los resultados en cada una de las categorías, aplicándose para el periodo de muestreo.

Por último, en el diseño de una metodología de caracterización de los residuos sólidos es importante mencionar que ésta debe tener un soporte estadístico, permitiendo obtener datos representativos de la población objetivo, por lo cual se considera que antes de su ejecución ésta debe ser evaluada y analizada, priorizando que sea por personal externo, contando con una opinión que valide su diseño.

BIBLIOGRAFÍA

[Consultado 18 de febrero de 2014]. Disponible en internet: <http://www.barranquilla.gov.co/>. Alcaldía de Barranquilla.

40% of municipal waste recycled or composted in 2008: Half a tonne of waste generated per person. 2010, 3 p. Eurostat newsrelease.. [Consultado 25 de Noviembre de 2013]. Disponible en Internet: http://europa.eu/rapid/press-release_STAT-10-43_en.htm?locale=en

Al-Khatib, Issam A.et al. Trends and problems of solid waste management in developing countries: A case study in seven Palestinian districts. En: Revista Elsevier. Enero 2007, no.27, p.1910-1919.

Aluna Consultores Limitada. Estudio nacional del reciclaje y los recicladores. Dimensión institucional: Caracterización del servicio de aseo en los municipios objeto de estudio. Bogotá, Marzo 2011.120 p.

Blumenthal Karin. Generation and treatment of municipal waste. Eurostat 2011a, 12 p. [Consultado 10 de Agosto de 2013]. Disponible en Internet: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-SF-11-031/EN/KS-SF-11-031-EN.PDF

Características físicas de los residuos sólidos urbanos. Enciclopedia Virtual [Consultado el 9 de diciembre de 2013].Disponible en internet: <http://www.ambientum.com/enciclopedia/residuo/1.26.31.06r.html>.

Caracterización de los residuos sólidos residenciales generados en la ciudad de Bogotá D.C. 2011, 69 p. Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP). [Consultado 20 de Mayo de 2013]. Disponible en Internet: [http://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/attachments/Caracterizaci%C3%B3n/RESIDENCIALES%2002-29-2012\(!\).pdf](http://www.uaesp.gov.co/uaesp_jo/attachments/Caracterizaci%C3%B3n/RESIDENCIALES%2002-29-2012(!).pdf)

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) & Organización Panamericana de la Salud (OPS). Procedimientos estadísticos

para los estudios de caracterización de residuos sólidos. En: Revista AIDIS 2006, no 1, 14 p.

Construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plásticos, papel y cartón 2008, 69 p. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). [Consultado 10 de Noviembre de 2013]. Disponible en Internet: http://www.minambiente.gov.co/documentos/4075_170909_criterios_tecnicos_generalidades.pdf

Dahlén, L., Lagerkvist, A. Methods for household waste composition studies. En: Revista Elsevier 2008, no 28. p 1100-1112.

El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea (200).Regulación N° 2150/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de Noviembre de 2002. Estadística sobre residuos. Jornada Oficial de Comunidades Europea L332, 19 p.

Environmental statistics and accounts in Europe. Eurostat 2010, 346 p. European Commission. [Consultado 25 de Noviembre de 2013]. Disponible en Internet: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-32-10-283/EN/KS-32-10-283-EN.PDF

Estrella Guzmán, Alberto Rodrigo. Manejo básico y normatividad para el control de los residuos sólidos urbanos del distrito federal. Trabajo de grado ingeniero sanitario. Ciudad de México, Distrito Federal: Instituto Politécnico Superior de Ingeniería y Arquitectura, 2006, 159 p.

Estudio sectorial de aseo 2006-2009. Bogotá D.C. 2009, 165 p. SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS (SSPD) 2010. [Consultado 10 de Noviembre de 2013]. Disponible en Internet: <http://www.superservicios.gov.co/content/download/893/13717/version/1/file/%282006%29+ESTUDIO+SECTORIAL+ASEO+2006+%E2%80%93+2009.pdf>

G. Tchobanoglous, H. Theisen, S. Vigil. Gestión Integral de residuos sólidos. Ed. McGraw–Hill. Bogotá. Colombia. 1994, Op. cit., 607 p.

Gestión de los residuos sólidos urbanos 2005, 156 p. Metrópolis & Universidad Politécnica de Catalunya (UPC). [Consultado 09 de Julio de 2013]. Disponible en Internet: http://www.metropolis.org/sites/default/files/publications/2005/2005_C3-Residuos-solidos-urbanos-ESP.pdf

Indicadores. Alcaldía de Barranquilla. [Consultado el 07 de Marzo del 2014]. Disponible en internet en: <http://www.barranquilla.gov.co/conoce-a-barranquilla/indicadores>.

Informe de la evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe 2005, 146 p. Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS), Organización Panamericana de la Salud (OPS). [Consultado 20 de Junio de 2013]. Disponible en Internet: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/informe/introduc.pdf>

Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe 2010, 164 p. Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS), Organización Panamericana de la Salud (OPS). [Consultado 05 de Enero de 2013]. Disponible en Internet: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36466973>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Diseño de la muestra en proyectos de encuesta. México 2011, vol. 2, 23 p.

Kiely, Gerard. Ingeniería Ambiental: Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión” Vol III. Ed. McGraw–Hill. Aravaca. España. 1999. 978 p.

Klinger, Rafael. Plan de muestreo para la cuantificación de residuos sólidos residenciales generados en las zonas urbanas de ciudades de tamaños intermedios. En: Revista Facultad de Ingeniería de Antioquia. Junio 2009, no.48, p 76-86.

Libro verde sobre la gestión de los biorresiduos en la unión Europa. [en línea]. Bruselas: 2008. Comisión de las Comunidades Europeas. [Consultado 1 de

Junio de 2013]. Disponible en Internet: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0811:FIN:ES:PDF>

Marmolejo, Luis F. et al. Análisis del funcionamiento de plantas de manejo de residuos sólidos en el norte del Valle del Cauca, Colombia. En: Revista EIA. Diciembre 2011, ISSN 1794-1237 no. 16, p 163-174.

Marshall, Rachael; Farahbakhsh, Khosrow. Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries. En: Revista Elsevier. Enero 2013, no. 33, p 988-1003.

Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. Gobierno de España. Gestión de biorresiduos de competencia municipal: Guía para la implementación de la recogida separada y tratamiento de la fracción orgánica. 2013. 355 p.

Ministerio de Desarrollo Económico (MDE). Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS, 2000). Título F "Sistema de Aseo Urbano". 233 p.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 2981 de 2013 (20 diciembre), 44 p.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Política para la gestión integral de residuos. Santafé de Bogotá, 1997.

Mora, Elba. Algunas consideraciones sobre muestreo. En: Revista Geog.Venez. Enero- junio, 2000, vol. 41., no. 1, p 31-46.

Oviedo, Ricardo O; Marmolejo, Luis R; Torres, Patricia L. Perspectivas de aplicación del compostaje de biorresiduos provenientes de residuos sólidos municipales un enfoque desde lo global a lo local. En: Revista Ingenierías

Universidad de Medellín. Enero-junio 2012, vol. 11, no 20, p 67-75.

Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS 2007-2022) 2007, 412 p. Alcaldía de Pasto. [Consultado 02 de Junio de 2013]. Disponible en Internet: https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.pasto.gov.co%2Findex.php%2Fcomponent%2Fphocadownload%2Fcategory%2F135-planes-ambientales%3Fdownload%3D103%3Aplan-de-gestin-integral-de-residuos-slidos-2007-2022&ei=e3iXU97mFLHRsQSNvoGACg&usg=AFQjCNHE_QcJ7gvnXJQSLCS eO-r9lq5tZg

Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Valle de Aburra (PGIRS 2005-2020) 2006, 66 p. CORANTIOQUÍA y Área metropolitana del Valle de Aburra. [Consultado 25 de Mayo de 2013]. Disponible en Internet: <http://www.aredigital.gov.co/Residuos/Documents/PGIRS/Cap.%20VI%20Proyecciones.pdf>

Runfola, J. Gallardo, A. Análisis comparativo de los diferentes métodos de caracterización de residuos urbanos para su recolección selectiva en comunidades urbanas. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Barranquilla, 24 y 25 de Septiembre de 2009, 14 p. [Consultado 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet: <http://es.scribd.com/doc/118013562/Analisis-comparativo-de-los-diferentes-metodos-de-caracterizacion-de-residuos-urbanos-para-su-recoleccion-selectiva-en-comunidades-urbanas>

Sánchez Rivera, Griselda. Diagnóstico de la problemática de los residuos sólidos urbanos en el municipio de ciudad Ixtepec, Oaxaca. Puerto Ángel: Universidad del mar campus Puerto Ángel .Facultad de Ingeniería. Abril 2005, 121 p.

SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL (SECOFI). Dirección General de Normas (1985).Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuo sólido municipales-Determinación de la generación. Norma Mexicana NMX-AA-061-1985, 16 p.

SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL (SECOFI). Dirección General de Normas (1985).Protección al ambiente-contaminación del

suelo-residuo sólido municipales-Método de Cuarteo. Norma Mexicana NMX-AA-015-1985, 8 p.

SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL (SECOFI). Dirección General de Normas (1985).Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuo sólido municipales-Peso volumétrico "in situ". Norma Mexicana NMX-AA-019-1985, 6 p.

Sharon L.,Lohr. Muestreo: Diseño y Análisis. Ed International Thomson Editores. México. 2000, 209 p.

Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia. Diagnostico 2011, 26 p. SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS (SSPD). [Consultado 15 de Noviembre de 2013]. Disponible en Internet: http://www.superservicios.gov.co/home/c/document_library/get_file?uuid=eef29b3e-9d73-4adb-8fdd-1e526981c01c&groupId=10122

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Informe ejecutivo de gestión sociedad de acueducto, alcantarillado y Aseo de Barranquilla S.A. E.S.P. Bogotá, Noviembre 2012, 50 p.

Thomas H. Christensen.. Waste characterization: Approaches and methods. Solid Waste Technology & Management Vol. 1. Editor Ed Blackwell Publishing Ltd. Lyngby. Denmark. 2011.

Triple A de Barranquilla S.A. E.S.P. Recubrimiento con Geomembrana del vaso No5 del relleno sanitario los Pocitos. Marzo 2013, 23 p.

Universidad del Valle (Univalle) y Departamento Administrativo de Planeación Municipal (DAPM). Caracterización de los residuos sólidos residenciales generados en el municipio de Santiago de Cali 2006, 45 p.

Vivanco, Manuel. Muestreo estadístico, diseño y aplicaciones. p. 23-26. [Consultado 10 de diciembre de 2013]. Disponible en internet:

http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=_gr5l3LbpIC&oi=fnd&pg=PA13&dq=DEFINICI%C3%93N+DE+PARAMETROS+ESTADISTICOS+EN+estudios++MUESTREOS&ots=C-hUhy-Hao&sig=dsOa6LtFSYyXDRACNxvtmiMAnNw#v=onepage&q&f=false.